Etude ergonomique de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement piéton urbain : un projet de conception de produit innovant

Lucie Brunet

▶ **To cite this version:**

Lucie Brunet. Etude ergonomique de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement piéton urbain : un projet de conception de produit innovant. Psychologie. Université Paris Sud - Paris XI, 2014. Français. NNT : 2014PA113009 . tel-01135931

HAL Id: tel-01135931

https://theses.hal.science/tel-01135931

Submitted on 26 Mar 2015

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.

UNIVERSITE PARIS-SUD

ECOLE DOCTORALE 456 :
SCIENCES DU SPORT, DE LA MOTRICITE ET DU MOUVEMENT HUMAIN

Laboratoire des Interfaces Sensorielles et Ambiante (CEA-TECH)
Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (CNRS)

THESE DE DOCTORAT

Discipline : **Ergonomie**

par

Lucie BRUNET

Etude ergonomique de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement piéton urbain

- un projet de conception de produit innovant -

Date de soutenance : **15/12/2014**

Composition du jury :

AMMI Mehdi	*MCF - HDR, LIMSI-CNRS et Université Paris-Sud (Examinateur)*
BUISINE Stéphanie	*Professeur des universités, CESI (Rapporteur)*
DANIEL Marie-Paule	*MCF - HDR, LIMSI-CNRS et Université Paris-Sud (Co-directrice)*
DARSES Françoise	*Professeur des universités, IRBA (Directrice)*
LENAY Charles	*Professeur des universités, Université de Technologie de Compiègne (Examinateur)*
MEGARD Christine	*Ingénieur-Chercheur, CEA-LIST (Encadrante)*
SALEMBIER Pascal	*Enseignant-Chercheur - HDR, Université de Technologie de Troyes (Rapporteur)*

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie Françoise Darses, Marie-Paule Daniel et Christine Mégard d'avoir encadré ce travail. Merci à toutes les trois pour votre accompagnement. Merci de m'avoir accordé votre confiance tout au long de ces quatre années, pour vos conseils et les discussions stimulantes que nous avons pu avoir.

Je remercie vivement Stéphanie Buisine, Pascal Salembier pour leurs rapports détaillés ainsi que Charles Lenay et Mehdi Ammi pour avoir participé à l'évaluation de ce travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail par leurs conseils, leurs remarques ou en ayant participé aux différentes expérimentation que j'ai mené durant la thèse. Merci à toutes l'équipe du LISA, à Moustapha pour sa bienveillance et ses encouragements permettant à chacun de s'épanouir dans ses recherches. Merci à tous les membres du LISA, pour les bons moments partagées, les pauses café et les échanges pluridisciplinaires quotidiens qui ont donné tellement de saveurs à ces trois années partagées entre Fontenay et Nano. Merci, pour cette ambiance bienveillante et motivante qui a été vraiment précieuse pour avancer et se dépasser. Merci à Christine, José, Gwénaël et Sabrina, c'était vraiment chouette de travailler avec vous, merci pour ces séances à brainstormer, ces sessions à l'ateliers à tester des vibrations en tous genres ou encore à apprendre à souder des cartes électroniques.

Un grand merci à toute l'équipe Tictact : Gilles, Arnaud, Livier, Michel, Patrick, Olivier, Philippe et Gérard.

MERCI aux camarades de thèse du LISA ! Merci à la bande des « jumeaux », Doudou, Carlito & HUD avec qui nous avons pu partager de façon quotidienne nos états d'âmes, nos avancées, ou encore refaire le monde chez Michou et puis une fois qu'il était fait, recommencer ! (et oui…j'ai mis un ptit bout de temps à vous rattraper… mais au final on y est tous arrivé !!!). Merci à Changeon P., Sabrina, Fanny, Haraldite, mes coloks de bureau Guigui et Alex et tous les autres, vous avez été tellement au top !

Merci aux membres du Réseau des Jeunes Chercheurs en Ergonomie, du bureau et du CA pour le partage des bons et des moins bons moments du doctorat. Merci plus particulier à Maria-Sol, Vincent, Magali, Cyril, Cécile, François, Céline, Julien, Johanna, Aurélie, Dounia, Sarah et les autres !

Merci à vous tous les copains du pôle péda de P-Est et à l'EN-PC, vous avez permis de ponctuer ma petite vie de thésarde de chouettes projets, tous plus fous les uns que les autres…

MERCI à Florent, MERCI mes ecoloks de choc, en phase terminale 1 : Cocot', puis en phase terminale 2 : Meloch, Martinus, Yinyin, sans oublier Mémé… Merci pour toute cette bonne humeur, les bons ptits plats, les fou-rires, les débats animés et les conseils de coloks… tous ces moments qui m'ont permis de tenir le coup durant ces derniers mois et de faire en sorte que, OUI, ce soit vraiment la FETE à la prison !!! :D

Un IMMENSE merci à vous, Mam, Pap, le frérot, TOUTE la FAMILLE et à TOUS les copains d'avoir supporté mes humeurs, mes états d'âme, mes absences … de m'avoir soutenu, réconforté et surtout d'avoir fait preuve de patience. Un MERCI plus spécial à Pap pour ces dernières semaines de relecture intensive du manuscrit. MERCI A TOUS !

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION 14
1. Contexte : l'aide au déplacement piéton urbain 15
1.1. Multiplication des supports d'information et saturation de l'environnement urbain 15
1.2. Technologies d'aide au déplacement piéton urbain 16
1.2.1. Rôle croissant du smartphone 16
1.2.2. Technologies émergentes fondées sur la modalité haptique 16
1.3. Un défi sociétal : améliorer l'information piétonne urbaine pour favoriser une mobilité durable 17
2. Terrain d'étude : Tictact, un projet pluridisciplinaire de conception d'un produit innovant 18
2.1. Le projet Tictact 18
2.2. Une équipe de conception pluridisciplinaire 19
2.3. Place de l'ergonomie dans le projet 20
3. Enjeux industriels 20
4. Enjeux scientifiques 21
4.1. Comprendre l'activité de déplacement afin de définir les modalités sensorielles adaptées à chaque fonction d'un dispositif d'aide 21
4.2. Enrichir les connaissances sur la conception et l'usage d'une interaction adaptée à l'activité 22
4.3. Enrichir les connaissances sur la place de l'ergonome dans un projet de conception de produit innovant 22

II. PARTIE THEORIQUE 23
1. Activité de déplacement piéton urbain : approche cognitive et ergonomique 24
1.1. Représentation mentale spatiale 24
1.2. La construction des connaissances spatiales 24
1.2.1. Cadres de référence 25
1.2.2. Contenu des représentations mentales spatiales : les cartes cognitives 26
1.3. Approche psychologique : navigation humaine 27
1.3.1. Processus mentaux impliqués dans la navigation 28
1.3.2. Planification d'itinéraire et wayfinding 29
1.3.3. Spécificité du wayfinding dans les environnement souterrains 30
1.4. Approche psycho-ergonomique : l'activité de déplacement 30
1.4.1. Une activité située 30
1.4.2. Une activité instrumentée et médiatisée 35
2. Les aides au déplacement 37
2.1. Aides au déplacement et phases du wayfinding 37
2.2. Les aides non technologiques 37
2.2.1. Descriptions d'itinéraire 38
2.2.1. Cartes 39
2.2.2. Signalétique 40
2.3. Les aides technologiques 40
2.3.1. Evolution des usages avec la généralisation du smartphone 40
2.3.2. Multiplication des applications pour la mobilité urbaine 41
2.4. Effet du format de l'aide sur l'activité de déplacement 42
2.4.1. Equivalence fonctionnelle des sources d'information 42
2.5. Critères d'évaluation des outils d'aide au déplacement 42
2.5.1. Test de navigation 42
2.5.2. Mesures physiologiques 42
2.5.3. Tests post-déplacement 43
2.5.4. Allure de déplacement 43
2.5.5. Issue de la consultation 43
3. Rôle de la perception haptique pour le déplacement 44
3.1. Physiologie de l'appareil tactile humain 44
3.1.1. Les mécanorécepteurs 44
3.1.2. Rôle de chaque mécanorécepteur dans la perception 45

3.2. Traitement cognitif de la perception haptique 47
3.2.1. La mémoire haptique 47
3.2.2. Différenciation des ressources 47
3.2.3. Attirer l'attention 48
3.3. Perception haptique en situation de mobilité 48
3.4. L'interaction multimodale 48
3.4.1. Efficacité de l'interaction multimodale 49
3.4.2. Avantages et inconvénients de l'information multimodale 49
3.5. Les dispositifs haptiques mobiles 51
3.5.1. Les interfaces portées 52
3.5.2. Dispositifs visant à informer pour l'orientation 53
3.5.3. Dispositif visant à la Transmission d'émotions 54
4. Concevoir un outil haptique d'aide au déplacement 55
4.1. Un outil alliant plusieurs modalités sensorielles 55
4.2. Utilisation de métaphores dans la conception 55
4.2.1. Concevoir un langage haptique adapté 55
4.2.2. Intérêt des icônes et d'un langage iconique 56
4.2.3. Conception d'un langage haptique – icônes haptiques 57
4.2.4. Les paramètres utilisés pour coder l'information haptique 57
4.2.5. Evaluation de l'interaction haptique 61
5. L'ergonome co-concepteur d'un produit innovant 62
5.1. Intervention en ergonomie pour un projet de conception innovant 62
5.2. Une démarche où l'ergonome est leader de la conception 62
5.2.1. Place de l'activité dans la conception 62
5.2.2. De l'analyse des besoins aux spécifications fonctionnelles 63
5.3. Concevoir un système accepté 64
5.3.1. Concevoir pour l'activité médiée 64
5.3.2. Concevoir pour l'expérience utilisateur 66
5.3.3. Concevoir pour l'appropriation 67

III. PROBLEMATIQUE 68
1. En quoi consiste l'activité de déplacement des piétons en environnement urbain réalisée avec les outils d'aide existants ? 69
2. Comment concevoir un système d'aide dont les fonctions haptiques ont du sens pour l'activité ? 70
3. Quel est l'apport de la modalité haptique au soutien de l'activité de déplacement piéton urbain ? 70
4. Synthèse de la démarche de recherche 71

IV. PARTIE EMPIRIQUE n°1. Analyse de l'activité de déplacement piéton urbain 73
1. Contexte et objectifs 74
2. Etude exploratoire 75
2.1. Objectifs 75
2.2. Méthodologie 75
2.2.1. Participants 75
2.2.2. Déroulement du groupe de discussion 75
2.2.3. Recueil des données 76
2.2.4. Traitement des données 76
2.3. Résultats 76
2.3.1. Difficultés principales rencontrées lors du déplacement 76
3. Etude de l'activité de déplacement 78
3.1. Objectifs de l'étude 78
3.2. Méthodologie 79
3.2.1. Participants 79
3.2.2. Scénario de déplacement 80
3.2.3. Déroulement de l'étude 81

3.2.4. Recueil de données 82
3.2.5. Traitement des données 82
3.3. Résultats 85
3.3.1. Phase de préparation d'itinéraire 85
3.3.2. Activités Cognitives Elémentaires et zones du déplacement 90
3.3.3. Informations nécessaires pour la bonne réalisation de l'ACE 92
3.3.4. Performance de l'activité de déplacement relative à la consultation d'informations visuelles 96
3.3.5. Effet de l'utilisation du smartphone sur la performance de l'activité de déplacement 98
3.3.6. Effet du profil usager sur la performance de l'activité de déplacement 101
4. Synthèse et conclusion 104
4.1. Traduction des besoins en exigences fonctionnelles 104
4.2. Traduction des besoins en exigences interactionnelles 105

V. PARTIE EMPIRIQUE n°2. Conception de l'interaction : signification haptique des fonctions d'aide au déplacement 107
1. Contexte et objectifs 108
2. Elaboration du concept 109
2.1. Génération d'idées de concepts 109
2.1.1. Objectifs 109
2.1.2. Méthodologie 109
2.1.3. Résultats 110
2.2. Sélection du concept du dispositif haptique 111
2.2.1. Objectifs 111
2.2.2. Méthodologies 111
2.2.3. Résultats 112
3. Conception de la signification haptique 118
3.1. Génération des métaphores 119
3.1.1. Méthodologie 119
3.1.2. Résultats 120
3.2. Sélection de métaphores signifiantes 121
3.2.1. Méthodologie 121
3.2.2. Résultats 121
3.3. Création de motifs vibratoires 121
3.3.1. Méthodologie 122
3.3.2. Résultats 123
3.4. Identification des paramètres perceptifs saillants 124
3.5. Classification des motifs en fonction des catégories perceptives 125
3.6. Evaluation des motifs en mobilité 126
3.6.1. Méthodologie 127
3.6.2. Résultats 127
3.7. Discussion 128
4. Etude sur l'intérêt d'un pré-signal vibratoire 129
4.1. Contexte et objectifs de l'étude 129
4.2. Méthodologie 130
4.2.1. Participants 130
4.2.2. Variables dépendantes 130
4.2.3. Matériel 131
4.2.4. Déroulement de l'expérimentation 131
4.2.5. Traitement des données 133
4.3. Résultats 133
4.3.1. Effet du jingle sur le taux de réussite global et en fonction des différents messages vibratoires 133
4.3.2. Effet du jingle sur le temps de réponse global et en fonction des différents messages vibratoires 134
4.3.3. Effet de l'interaction entre la présence d'un jingle et les situations de déplacement qui engendrent une charge de travail variable 134
4.4. Discussion 136

VI. PARTIE EMPIRIQUE n°3. Evaluation des fonctions haptiques du dispositif d'aide au déplacement piéton urbain 138
1. Contexte et objectifs 139
2. Méthodologie 140
2.1. Participants 140
2.2. Description des dispositifs utilisés 141
2.2.1. Fonctions d'aide 142
2.3. Scénario de déplacement 144
2.4. Méthodes de recueil de données 145
2.4.1. Apprentissage avec les outils d'aide 145
2.4.2. Réalisation du scénario de déplacement 146
2.4.3. Entretien semi-directif 146
2.5. Traitement des données 147
2.5.1. Analyse de l'activité de déplacement 147
2.5.2. Analyse des entretiens 148
2.5.3. Analyse des questionnaires 148
3. Résultats 148
3.1. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur la performance de l'activité de déplacement 148
3.1.1. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur le temps de trajet 148
3.1.2. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur la durée et le nombre d'interaction avec un support d'information pendant le trajet 149
3.1.3. Effet de l'utilisation du prototype sur le nombre d'erreurs pendant le déplacement 149
3.1.4. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur l'allure globale de déplacement 149
3.1.5. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur l'issue de l'interaction avec un support d'information 151
3.2. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur la performance de chacune des Activités Cognitives Elémentaires 152
3.2.1. Effet du prototype sur la mise en œuvre des ACE mobilisées au court du déplacement piéton 152
3.2.2. Effet du prototype haptique sur le nombre d'interactions avec un support d'information pour chacune des ACE 153
3.2.3. Effet du prototype haptique sur l'allure de déplacement lors de la réalisation de chacune des ACE 154
3.2.4. Effet du prototype haptique sur l'issue de l'interaction avec un support d'information pour chaque ACE 155
3.3. Evaluation des fonctions du dispositif 156
3.3.1. Evaluation de la fonction GUIDER 156
3.3.2. Evaluation de la fonction RASSURER 159
3.3.3. Evaluation de la fonction ALERTER & SIGNALER 159

VII. CONCLUSION & PERSPECTIVES 163
1. Définitions des fonctions à soutenir pour optimiser l'activité de déplacement à l'aide de la modalité haptique 164
2. Conception de l'interaction haptique 165
3. Apport de l'haptique comme modalité d'interaction pour un système d'aide au déplacement 166
4. Perspectives 166

BIBLIOGRAPHIE 168

ANNEXES 178
Annexe 1. Profils des membres de l'équipe de conception pour chacun des partenaires 179
Annexe 2. Panel des participants de la partie empirique n°1 179
Annexe 3. Questionnaire – Expérimentations N°1 & N°3 180

Annexe 4. Scénario de déplacement détaillé – Etude activité de déplacement – Partie empirique N°1 185
Annexe 5. Grille d'observation détaillée – Partie empirique n°1 187
Annexe 6. Tableau récapitulatif du cahier des charges du prototype Tictact issue de l'analyse fonctionnelle 187
Annexe 7. Fiches idées représentant différents concepts de systèmes haptiques 188
Annexe 8. Résultats de l'évaluation des idées de concepts 188
Annexe 9. B.1. Génération de métaphores 190
Annexe 10. B.2. Sélection des métaphores 191
Annexe 11. B.5. Classification des motifs vibratoires en fonction des catégories 193
Annexe 12. Capture d'écran de l'application Tictact – Partie empirique n°3 194
Annexe 13. Questionnaire d'évaluation – Partie empirique n°3 195
Annexe 14. Evaluation subjective du prototype 198
Questionnaire d'évaluation de l'interaction haptique 198
Résultats 198

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Récapitulatif des caractéristiques des mécanorécepteurs (Youngblut, Johnston, Nash, Wienclaw, Will, 1996). 47

Tableau 2. Récapitulatif de l'adéquation entre les caractéristiques de l'information et les différents canaux sensoriels (ETSI EG, 2002) 50

Tableau 3. Récapitulatif des différents paramètres utilisés pour la modalité haptique avec des vibreurs - (MacLean K. , 2008) 60

Tableau 4. Récapitulatif des objectifs, méthodes et résultats attendus des études empiriques 71

Tableau 5. Récapitulatif des objectifs, méthodes et résultats attendus pour la partie empirique n°1 74

Tableau 6. Récapitulatif des difficultés rencontrées par les participants au cours de leur déplacement, verbalisées lors du groupe de discussion. 76

Tableau 7. Récapitulatif des besoins en informations issus du groupe de discussion en fonction des zones du trajet dans lesquels le besoin est spécifié. 77

Tableau 8. Extrait du tableau de la retranscription des verbalisations issues de l'auto-confrontation mises en corrélation avec l'étape du trajet. 82

Tableau 9. Récapitulatif des activités cognitives mises en œuvre pendant le déplacement et nécessitant la consultation d'un support d'information. 83

Tableau 10. Récapitulatif du temps de trajet, nombre de consultations, temps de consultation et pourcentage de temps moyen ou une personne a consulté un support d'information. 90

Tableau 11. Récapitulatif du contenu d'information nécessaire à la réalisation de chacun des ACE (en % pour chacune des ACE) 92

Tableau 12. Récapitulatif du temps consultation moyen à allure dégradée et du nombre moyen d'issues négatives pour chacune des ACE. 98

Tableau 13. Récapitulatif des fonctions du dispositif futur issues de l'analyse des besoins. 104

Tableau 14. Récapitulatif des fonctions du dispositif issues de l'analyse des besoins ainsi que des modalités sensorielles d'interaction éligibles pour le dispositif futur. 106

Tableau 15. Récapitulatif des étapes et expérimentations mises en œuvre au cours de la partie expérimentale n°2. 108

Tableau 16. Récapitulatif des six critères utilisés pour l'évaluation experte. 112

Tableau 17. Barème de notation utilisé les quatre jurys pour noter chaque fiche-idée. 112

Tableau 18. Récapitulatif des notes données par les jurys pour les quatre concepts ayant obtenus les notes les plus hautes. 116

Tableau 19. Récapitulatif des fonctions et des concepts d'interface adoptés pour chacune des fonctions. 116

Tableau 20. Tableau récapitulatif des fonctions et des messages associés relatifs à l'interface du bracelet haptique 119

Tableau 21. Récapitulatif des objectifs, méthodologie et résultats de l'étape 3. 119

Tableau 22. Métaphores sélectionnées pour chacun des sept messages donnés avec le bracelet vibrant. 121

Tableau 23. Résultat du test de Student montrant la différence significative entre les moyennes de la charge de travail par rapport aux différentes situations de déplacement. 135

Tableau 24. Récapitulatif des outils d'aide à disposition de chacun des deux groupes expérimentaux pour réaliser le scénario de déplacement. 143

Tableau 25. Récapitulatif des messages envoyés aux participants pendant la réalisation du scénario. 145

Tableau 26. Comparaison du temps de déplacement global et dans chaque zone pour les deux groupes expérimentaux (AVEC et SANS PROTOTYPE)..... 148

Tableau 27. Comparaison du nombre et du temps moyen d'interaction pour les deux groupes expérimentaux (groupe PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE)..... 149

Tableau 28. Comparaison des durées moyennes à chacune des allures de déplacement pour le groupe AVEC et SANS PROTOTYPE..... 150

Tableau 29. Nombre moyen d'interactions avec un support d'information ayant entrainé une Effet du prototype haptique sur la performance de chacune des ACE pendant l'activité de déplacement..... 151

Tableau 30. Comparaison de la durée moyenne d'interaction avec un support d'information nécessaire pour chacune des ACE entre les groupes PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE..... 152

Tableau 31. Comparaison du nombre moyen de consultations nécessaire à la réalisation de chacune des ACE entre le groupe PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE..... 153

Tableau 32. Comparaison du temps moyen en allure dégradée relatif à chacune des ACE entre les groupes P et SP..... 155

Tableau 33. Comparaison de la durée moyenne d'interactions dont l'issue est négative relatives à chacune des ACE entre les groupes AVEC PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE..... 156

Tableau 34. Récapitulatif des taux de reconnaissance (en %) des motifs haptiques de direction envoyés avec le viflex pour chacune des catégories de direction en fonction des critères de reconnaissance..... 156

Tableau 35. Récapitulatif des taux de reconnaissance (en %) des messages envoyés avec le bracelet pour chacune des catégories de messages en fonction des critères de reconnaissances..... 160

Tableau 36. Récapitulatif des participants à l'étude exploratoire..... 179

Tableau 37. Récapitulatif des participants à l'étude exploratoire..... 179

Tableau 38. Récapitulatif des participants à l'étude d'activité de déplacement – la couleur verte est attribuée aux personnes correspondant au profil « usager régulier », la couleur bleue au profil « usager occasionnel »..... 180

Tableau 39. Récapitulatif des natures des informations observées..... 187

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma récapitulant le principe de fonctionnement du système Tictact fixé en amont du projet. 19

Figure 2. Modèle de Chen & Stanney (1999) repris en partie de Passini (1996)..... 29

Figure 3. Les principales composantes de la situation d'usage (Valentin, Lancry, & Lemarchand, 2010; Rabardel & Pastré, 2005). 31

Figure 4. Les différentes étapes d'un trajet piéton urbain en transport en commun Rüetschi & Timpf (2005)..... 35

Figure 5. Situation de différents types de mécanorécepteurs..... 45

Figure 6.Classification des mécanorécepteurs cutanés selon leur adaptation et la taille de leur champ récepteur. Illustration de la taille du champ récepteur des A : corpuscules de Meissner et B : corpuscules de Pacini au niveau de la peau palmaire..... 46

Figure 7 : Systèmes de navigation tactile utilisant des actionneurs vibrants électromagnétiques fixés au poignet (a) GentleGuide, (Bosman et al., 2003) (b) Rotating Compass (Rukzio, 2005)..... 52

Figure 8 : Ceintures tactiles (a) Tactile Wayfinder, (b) ActiveBelt..... 52

Figure 9 : Vestes tactiles pour applications militaires: (a) Matrice 4x4 vibreurs (b) TactaVest..... 53

Figure 10. : CabBoots : (a) principe de fonctionnement (b) prototype..... 53

Figure 11. Processus de conception des icônes haptiques - Jones & al, 2009. 56

Figure 12. Combinaison pour une sensation égale de grandeur de vibration dérivée des données obtenues par la méthode de la balance à grandeur numérique. Les niveaux de sensation atteints sont le seuil (cercles), à 20 dB (carrés) et à 40 dB (Triangles) jusqu'au seuil pour un signal à 250Hz. (Verillo, Fraioli, & Smith, 1969). 59

Figure 13. Processus d'analyse des besoins jusqu'aux spécifications fonctionnelles (Couix, 2012) .64

Figure 14. Récapitulatif de l'itinéraire réalisé par le participant pour se rendre du point de départ (12 rue des Portes Blanches, 18ème) au point d'arrivée (21 rue Auber, 9ème). L'itinéraire 0 est l'itinéraire nominal (ligne 12-vert) et l'autre est l'itinéraire de substitution pour se rendre à destination (ligne 12, puis ligne 2-bleu foncé puis ligne 13-bleu turquoise) pour arriver à destination. 80

Figure 15. Représentation des différents temps de préparation d'itinéraire pour chacun des vingt-deux participants de l'étude. Les utilisateurs de smartphone sont représentés par les losanges oranges et ceux n'utilisant pas un smartphone par les losanges gris. 85

Figure 16. Représentation schématique des différentes étapes de la stratégie de préparation d'itinéraire n°1. 87

Figure 17. Représentation schématique des différentes étapes de la stratégie de préparation d'itinéraire n°2. 88

Figure 18. Récapitulatif du temps moyen de réalisation de chaque ACE nécessitant la consultation d'un support d'information dans chacune des zones de déplacement..... 91

Figure 19. Prise de vue de l'information « plan liste ligne »..... 93

Figure 20.Schéma récapitulatif des ACE mises en œuvre pendant le trajet scénario à chaque étape ainsi que les informations consultées. 96

Figure 21. Temps moyen de réalisation de chacune des ACE en allure normale et en allure dégradée pour l'ensemble des participants. 97

Figure 22. Nombre moyen de consultations ayant entrainé une issue de l'ACE positive ou négative pour l'ensemble des participants. 98

Figure 23. Comparaison du temps moyen de consultations d'information liées à chacune des ACE pour les participants avec ou sans smartphone (SP). 99

Figure 24. Comparaison du nombre moyen de consultations d'information dans les groupes avec et sans smartphone. 99

Figure 25. Comparaison du temps en allure dégradée associé à chacune des ACE pour les participants utilisant ou non un smartphone (SP) 100

Figure 26. Comparaison du nombre moyen de consultations ayant entrainé une issue négative pour chacune des ACE pour les participants avec et sans smartphone 101

Figure 27. Comparaison du temps moyen de consultations d'information liées à chacune des ACE pour les participants réguliers et occasionnels. 102

Figure 28. Comparaison du nombre moyen de consultation d'information pour les groupes réguliers et occasionnels. 102

Figure 29. Comparaison du temps moyen de réalisation de chacune des ACE en allure dégradée pour les participants réguliers et occasionnels. 103

Figure 30. Comparaison du nombre moyen de consultations ayant entrainé une issue négative pour chacune des ACE pour les usagers réguliers ou occasionnels. 103

Figure 31. Prises de vue pendant l'une des séances de créativité et du matériel à disposition pour l'expérimentation. 110

Figure 32. Récapitulatif des différents endroits du corps correspondant aux différentes idées de concepts imaginés par les participants lors des deux séances de créativité. 111

Figure 33. Fiche idée du concept « Plateforme pivotante » relatif à la fonction GUIDER. 113

Figure 34. Fiche d'idée du concept « Bracelet multi-usage » relatif à la fonction ALERTER-SIGNALER. 114

Figure 35. Fiche idée du concept « Matrice de stimuli » relatif à la fonction RASSURER 115

Figure 36. Fiche idée du concept « The Cylinder » relatif à la fonction RASSURER. 115

Figure 37. Vue d'artiste du concept final pour le système d'aide au déplacement Tictact, il se compose de trois interfaces : le viflex (interface haptique), le bracelet (interface haptique) et le smartphone (interface visuelle). 117

Figure 38. Prise de vue des interfaces correspondant à chacune des fonctions du système. 118

Figure 39. Prise de vue du prototype de bracelet vibrant utilisé dans l'expérimentation B.3, B4 et B5. 122

Figure 40. Icônes visuelles représentant les 21 métaphores sélectionnées lors de l'expérimentation B.2. 123

Figure 41– exemple de motif vibratoire pour la métaphore « ça roule » correspondant au message m.1. 123

Figure 42. Motifs conçus pour chacune des métaphores et chaque message (indiqués au centre du bracelet). Les couleurs représentent le niveau d'amplitude : vert clair pour 1, vert foncé pour 2, et un dégradé de couleur du jaune au rouge pour les niveaux 3 à 7. Les nombres et les flèches indiquent l'ordre de vibration. La barre sous chaque motif donne les informations de durée (longueur de la barre), répétition (x nombre), les pauses entre les vibrations (gris clair) et les changements entre les actionneurs sans changement d'amplitude, ni de pause (barre verticale gris foncée) 126

Figure 43. Résultats d'identification issus de l'évaluation en mobilité. 127

Figure 44. Notes moyennes issues de l'échelle de Likert données à chaque motif vibratoire (1 est la note la plus basse, 10 la plus haute). Les barres bleues correspondent aux notes en statique et les bares rouges en mobilité. 128

Figure 45. Représentation schématique du temps de réponse pour les groupes avec et sans pré-signal (jingle) 131

Figure 46. Motif vibratoire retenu comme pré-signal (durée = 9 ms). Le motif vibratoire utilise seulement six trames, et les vibreurs 1, 3, 5 et 7. La trame numéro cinq correspond à un temps

de pause de deux ms. L'amplitude des quatre premières vibrations est moyenne, alors que celle de la dernière vibration est forte..... 131

Figure 47. Présentation des différentes situations de déplacement choisies en fonctions des caractéristiques du paradigme de double tâche (Baddeley, 2002). 132

Figure 48. Représentation schématique d'un parcours expérimental. Les cotés de l'hexagone représentent les différentes situations de déplacement placées aléatoirement. Les barres colorées représentent la présentation aléatoire des sept messages vibratoires. 132

Figure 49. Moyenne et écart type pour la variable dépendante taux de réussite (%) en fonction des deux groupes (A), et Moyenne du taux de réussite (%) du groupe avec et sans jingle en fonction des différents messages vibratoires (B). 133

Figure 50. Moyenne et écart type pour la variable dépendante temps de réponse (sec) en fonction des deux groupes (A) et Moyenne du temps de réponse (sec) du groupe avec et sans jingle en fonction des différents messages vibratoires (B). 134

Figure 51. Présentation des résultats des différentes situations de déplacement en fonction de la moyenne de la charge de travail estimée par le groupe avec et sans jingle (A). Moyenne du taux de réussite en fonction des situations de déplacement pour les deux groupes (B). Moyenne du temps de réponse en fonction des situations de déplacement pour le groupe avec et sans jingle (C)..... 136

Figure 52. Prise de vue du prototype haptique utilisé par le groupe PROTOTYPE pendant l'étude. ... 141

Figure 53. Parcours réalisé par les participants avec la localisation des messages envoyés au cours du trajet. Durant ce parcours 11 motifs vibratoires sont envoyés aux participants à l'aide du bracelet (bulle verte = information culturelle, bulle rose = point d'intérêt, bulle bleue foncée = montée-descente de son véhicule, bulle rouge = incident)..... 145

Figure 54. Comparaison des durées moyennes à chaque allure sur le trajet pour le groupe AVEC et SANS PROTOTYPE. 150

Figure 55. Comparaison de la durée d'interaction avec un support d'interaction relatif à chacune des ACE entre les deux groupes expérimentaux. 152

Figure 56. Comparaison du nombre moyen de consultations d'un support d'information nécessaire pour la réalisation de chacune des ACE mises en œuvre pendant le déplacement entre le groupe PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE. 153

Figure 57. Comparaison du temps d'interaction en allure dégradée entre le groupe PROTOTYPE et le groupe SANS PROTOTYPE. 154

Figure 58. Comparaison de la durée moyenne d'interactions entrainant une issue négative pour chacune des ACE pour chacun des groupes expérimentaux. 155

Figure 59. Vue du plan de quartier correspondant à la situation [SIT. 2],carrefour compliqué. 158

Figure 60. Illustration du scénario de déplacement mise en place pour l'étude..... 185

Figure 61. Récapitulatif des différents itinéraires réalisés par les participant pour se rendre du point de départ (12 rue des Portes Blanches, 18ème) au point d'arrivée (21 rue Auber, 19ème). L'itinéraire 0 est l'itinéraire nominal et les 2 autres sont les itinéraires dégradés..... 186

Figure 62. Caractéristiques spécifiques des 21 motifs vibratoires du bracelet Tictact..... 193

Figure 63. Notes moyennes données par les participants du groupe PROTOTYPE au questionnaire d'évaluation du prototype. 198

I. INTRODUCTION

Cette thèse va examiner l'apport de la modalité haptique (sens du toucher) comme support à l'activité de déplacement piéton urbain. Les travaux présentés dans cette thèse s'inscrivent dans le champ de la recherche en ergonomie. L'objectif appliqué est de concevoir un dispositif haptique d'aide au déplacement piéton urbain. Un dispositif haptique est un système technologique ayant un rôle de médiateur pour l'activité par l'intermédiaire du sens du toucher. Ce dernier n'ayant pas été utilisé jusqu'ici pour les outils d'aide au déplacement, nous savons peu de choses sur la forme que devra prendre l'assistance aux usagers, ni sur la manière dont cette assistance pourra être rendue possible sur un plan technique. Nous sommes dans le cas d'un processus de conception innovante. Cela nous amène à mettre en œuvre une démarche en ergonomie prospective, consistant à construire et à anticiper les besoins futurs, usages et comportements en vue de créer des produits adaptés (Brangier & Robert, 2014)

1. Contexte : l'aide au déplacement piéton urbain

Nous entendons par activité de déplacement piéton en environnement urbain, les déplacements effectués par des usagers réguliers, occasionnels ou ponctuels, en ville (en l'occurrence à Paris) au moyen de la marche à pied et/ou des transports en commun.

Le déplacement peut être un moyen pour atteindre une destination, il est alors d'ordre utilitaire par exemple le trajet pour se rendre à son travail, se rendre à une activité de loisir, se rendre chez des amis. Il peut également être un but en soi lors d'une balade en forêt ou encore d'une visite touristique. Cette activité de déplacement est réalisée dans des environnements et des situations diverses (en intérieur, en extérieur, seul, à plusieurs, etc.) avec des contraintes très différentes (motif du déplacement, heure de pointe, modalité de transport, environnement connu ou inconnu, etc.).

Lorsque nous nous déplaçons, nous utilisons nos capacités de localisation, d'orientation et de navigation dans l'espace. Les processus mis en œuvre lors de ces actions sont complexes. Le déplacement implique principalement deux processus itératifs : la navigation et la recherche d'information. L'environnement urbain est un environnement complexe qui tend à devenir de plus en plus vaste avec des zones hétérogènes : immeubles, parcs, zones industrielles, places, etc. L'offre de transport y est très large avec des réseaux complexes. Pour surmonter et mettre à profit cette complexité et ainsi faciliter des déplacements réussis, les services de transport en commun mettent des informations à disposition des usagers sur différents supports qui permettent d'enrichir l'environnement.

1.1. Multiplication des supports d'information et saturation de l'environnement urbain

La navigation et la recherche d'informations sont réalisées essentiellement à l'aide de la vision, comme par exemple la lecture de cartes ou de plans et des panneaux d'affichage. La grande majorité des services d'information sont offerts sur des supports très variés, techniques ou non. Par exemple, une personne qui se déplace en métro va prendre de l'information sur les panneaux se trouvant dans la station afin de choisir le couloir la menant jusqu'à la ligne désirée, mais elle peut aussi profiter d'un moment d'attente pour regarder en temps réel l'horaire de sa prochaine correspondance en bus grâce à une application dédiée disponible sur son smartphone. L'information visuelle peut être à caractère collectif, comme le fléchage ou les panneaux d'indication. Elle peut être également à caractère individuel, sur des supports nomades tels que la carte papier ou le smartphone. La modalité auditive est quant à elle, employée de façon beaucoup plus restreinte par les systèmes d'information. Elle est utilisée essentiellement dans les stations et dans les véhicules de transport en commun grâce à des haut-parleurs. La sous-utilisation de l'interaction auditive se justifie par un environnement extérieur ou intérieur déjà très bruyant.

L'usager dispose ainsi d'une quantité importante d'informations déclinées sur de nombreux médias. De nombreuses applications mobiles d'aide au déplacement piéton urbain se développent sur différents supports (smartphone, tablette, etc.). Les écrans d'information deviennent de plus en

plus grands, les messages audio et textuels se multiplient en station, comme en extérieur dans des environnements déjà chargés (éclairages multiples, publicités, annonces superposées, bruit de foule, machines, etc.). Tout cela finit par saturer l'univers ambiant urbain et provoque des effets opposés à ceux visés initialement. Malgré un effort important d'amélioration de la lisibilité des informations, le voyageur occasionnel qui représente la moitié des usagers reste souvent perplexe face à un réseau multimodal toujours plus large et complexe et va rencontrer des difficultés pour prélever l'information pertinente pour son propre trajet. L'utilisateur régulier peut se trouver dans une situation analogue lors d'un déplacement occasionnel sur un trajet inconnu et lors de la survenue d'une perturbation dans le réseau.

1.2. Technologies d'aide au déplacement piéton urbain

1.2.1. Rôle croissant du smartphone

Depuis quelques années, l'assistance à la navigation est en plein essor, notamment avec le développement important des technologies mobiles permettant de créer des outils d'aide à la navigation, tels le smartphone intégrant un GPS. On dénombre à l'heure actuelle plus de 24,1 millions de possesseurs de smartphone en France, soit 44,4% de la population française de 11 ans et plus[1] et ce taux ne cesse d'augmenter. Cette évolution technologique entraine une modification des usages et des comportements dans de nombreux domaines de la vie quotidienne et va impacter notamment celui du déplacement.

La conception linéaire de la réalisation d'un trajet comprenant une phase de préparation le plus souvent chez soi, une phase d'exécution et une phase de « bilan » chez soi (Patesson & Lecomte, 1999) est en train d'évoluer. L'accès aux applications disponibles sur dispositif mobile permet à l'usager de planifier et replanifier son parcours en cours de mobilité et d'interroger les systèmes d'information mis à disposition par le réseau à toutes les étapes de son déplacement. Le parcours de l'usager peut désormais être replanifié à sa guise en fonction de ses objectifs et motifs de déplacement mais également en fonction du contexte. L'usager peut vouloir par exemple, profiter d'une journée ensoleillée pour réaliser une partie agréable du trajet à pied et non plus en transport en commun ou au contraire s'engouffrer dans la première bouche de métro pour échapper à une pluie soudaine. L'utilisation du smartphone confère également plus d'autonomie aux voyageurs. En cas de problème ou s'ils changent d'avis en cours de route, ils peuvent, grâce à leur téléphone et aux informations auxquelles ils accèdent, trouver des solutions de repli pour leurs déplacements. Leur frustration est atténuée jusqu'à un certain point car ils ont en leur possession un outil leur permettant de faire face aux impondérables. Ils ne sont plus entièrement tributaires de l'opérateur de transport et peuvent élaborer plus aisément leurs propres stratégies de déplacement. La mise à disposition de ces informations nomades va ainsi modifier les stratégies de prise d'information et la façon de se déplacer. A l'heure actuelle, peu d'études se sont intéressées à l'usage de ces nouvelles technologies mobiles et à leur impact sur l'activité de déplacement.

1.2.2. Technologies émergentes fondées sur la modalité haptique

1.2.2.a) Modalité visuelle, modalité dominante pour les outils d'aide

Les outils d'aide au déplacement, qu'ils soient fixes ou nomades, utilisent principalement la modalité sensorielle visuelle qui permet de donner des informations de façon efficace (Eliott, Coovert, Prewett, Walvord, Saboe, & Johnson, 2009). Cependant, pour un utilisateur en mobilité, l'interaction visuelle peut être une distraction notable par rapport à l'environnement qui l'entoure et entrainer suivant le contexte une surcharge attentionnelle pouvant induire une dégradation de la mobilité. Par exemple, un touriste qui essaie de découvrir une région pour la première fois va être distrait par des instructions visuelles qui peuvent nuire à sa découverte de l'environnement. Nous pouvons retrouver ce même type de situation altérée lorsqu'une personne a besoin de s'orienter sur un trajet inconnu de sa propre ville.

[1] Etude réalisée par la Mobile Marketing Association France, en partenariat avec ComScore, GFK et Médiamétrie en 2013.

En situation de mobilité, les ressources cognitives allouées à la composante visuelle et auditive sont déjà fortement sollicitées (Oulasvirta, Tamminen, Roto, & Kuorelahti, 2005). Une des caractéristiques des utilisateurs d'Interfaces Humain-Machine (IHM) en mobilité est que, souvent, plusieurs tâches sont réalisées en même temps et que les contextes sont très variés. Le fait d'interagir avec un dispositif en mobilité est donc difficile et complexe. L'utilisateur doit par exemple regarder le petit écran de son interface mobile et naviguer d'un point à un autre tout en prêtant attention à l'environnement. Cela implique une attention limitée pour chacune de ces actions et peut même exposer l'utilisateur à des dangers (exemple : traverser une rue très fréquentée tout en regardant l'écran de son téléphone mobile). Les appareils mobiles ont également de petits écrans car ils doivent être faciles à transporter, l'interaction visuelle n'en est donc pas facilitée. En situation de mobilité, une des demandes cognitives les plus importantes est la réalisation simultanée de tâches visuelles et motrices (Oulasvirta et al., 2005). Différents contextes peuvent également entraîner des limitations dans l'interaction visuelle de l'usager avec son smartphone : la pluie, la neige, la foule, la marche rapide, etc. (Pielot, Poppinga, & Boll, 2010). L'utilisateur peut aussi craindre de sortir son smartphone au cours de son trajet en raison d'un manque de sécurité.

1.2.2.b) Propriétés de la modalité haptique intéressantes pour l'activité de déplacement

Une solution pour remédier aux difficultés liées à la sur-utilisation des modalités visuelles en environnement urbain pourrait être d'utiliser en fonction du contexte une autre modalité sensorielle : l'haptique ou plus communément le sens du toucher. Cette modalité sensorielle supplémentaire pourrait permettre de proposer aux utilisateurs des interactions en meilleure cohérence avec leurs capacités du moment (Wickens, 2002) en améliorant entre autres la consultation de support d'information en situation de mobilité. Par ailleurs, cette modalité peu répandue permettrait d'exploiter les sensorialités intègres, non dégradées par un handicap visuel temporaire ou permanent. La modalité haptique permet de donner de l'information même quand la personne n'est pas prête à en recevoir (par exemple, sans avoir besoin de regarder un écran). Cette modalité permet d'**attirer l'attention** (Spence & Ho, 2008) et de **donner des informations simples** comme les informations de guidage à l'aide, par exemple, de vibrations (Tsukada & Yasumrua, 2004). L'introduction de la modalité sensorielle haptique dans les dispositifs d'aide au déplacement serait judicieuse, également pour ses propriétés d'**interaction non intrusive et discrète**. L'espace urbain étant partagé par un grand nombre d'usagers, en particulier dans les grandes villes, il est important que les informations individuelles données sur supports nomades ne soient pas intrusives pour les autres usagers. Ainsi, la modalité haptique présente plusieurs propriétés intéressantes qu'il serait potentiellement judicieux d'exploiter pour un dispositif multimodal d'assistance efficace et accepté par l'utilisateur.

1.3. Un défi sociétal : améliorer l'information piétonne urbaine pour favoriser une mobilité durable

La notion de mobilité durable renvoie à une politique d'aménagement et de gestion du territoire et de la ville qui favorise une mobilité pratique, peu polluante et respectueuse à la fois de l'environnement et du cadre de vie. La mobilité durable concerne tant l'urbanisme, les infrastructures et l'organisation du réseau de transport, que les applications technologiques ou encore la sensibilisation et l'éducation des populations. La mobilité durable repose donc sur l'application et le développement de principes d'organisation et de technologies qui favorisent les modes de déplacements alternatifs tels que la marche à pied, le vélo, les transports en commun et la réduction des émissions de polluants et de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte, le développement, l'évolution et l'efficience de la mobilité et des transports en commun préoccupent à la fois les citoyens, les organismes de transport, l'industrie, ainsi que les décideurs publics. La RATP, comme d'autres grandes structures qui accueillent une population nombreuse et variée est consciente du besoin de guidage, d'orientation, de communication et d'information de ses clients afin d'optimiser la mobilité des personnes et rendre plus attractif l'usage des transports en commun. La fréquentation quotidienne du réseau en Ile de France est de 2,5 millions d'usagers et cette fréquentation progresse au rythme de 2% en moyenne par an[2], ce qui représente 480 millions de voyageurs franciliens supplémentaires accueillis en 10 ans. Cette

[2] Rapport d'activité RATP - 2012

augmentation du nombre des usagers accentue la pression sur les systèmes de transport qui deviennent proches de la saturation aux heures de pointe. Par ailleurs, Paris, première destination touristique au monde, se doit d'avoir un réseau de transport multimodal attractif pour les voyageurs. Les profils des usagers empruntant le réseau sont très variés, allant du voyageur quotidien pour qui le réseau n'a quasiment plus de secret et qui se déplace « les yeux fermés » jusqu'au touriste n'ayant jamais emprunté le métro et n'ayant aucune connaissance de la ville.

Un des enjeux sociétaux est ainsi d'encourager la transition vers une mobilité individuelle durable en favorisant l'innovation technologique, les pratiques de mobilité partagée et l'inter-modalité. L'une des façons d'agir dans ce sens est de s'intéresser aux systèmes d'information accompagnant les usagers des réseaux de transports en commun avant et pendant leurs trajets en ville. Cela, afin d'améliorer la performance en terme de prise en charge voyageur et favoriser la mobilité piétonne ainsi que l'utilisation des transports en commun. Les améliorations de l'information pour les usagers concernent deux éléments principaux : assurer une continuité des informations tout au long du déplacement, et assurer une personnalisation et une adaptation des informations à l'environnement afin de les rendre utiles à tous types de profils voyageurs et en toutes circonstances.

Les systèmes d'information actuels sont constitués de segments complémentaires isolés, c'est-à-dire qu'il est le plus souvent difficile à l'usager de repérer la cohérence entre les différents systèmes d'information destinés aux personnes se déplaçant en transport en commun ou à pied. Ce manque de cohérence entre les systèmes d'information est visible au niveau du support comme au niveau de la nature de l'information. Cela doit être amélioré afin d'obtenir une chaine d'information continue et efficiente tout au long du déplacement. Il faut cependant souligner que cette limitation de la continuité d'information est souvent due pour une grande partie à la limitation de la technologie des systèmes d'information actuels qui sont pris en défaut en situation de mobilité. Par exemple dans une station de métro le GPS ne capte plus et il est souvent fastidieux de réaliser une modélisation de l'espace souterrain. A l'inverse, d'autres dispositifs fonctionnent en intérieur avec des équipements spécifiques en utilisant des technologies comme le wifi ou la fréquence radio mais ne vont pas fonctionner en extérieur (Uzan , Mbodj, Mégard, & Brunet, 2011).

L'amélioration de la performance du service voyageur passe également par la volonté d'offrir une information personnalisée et pertinente adaptée à l'environnement et à la situation de l'utilisateur afin d'adapter son parcours en fonction de ses propres besoins. Par exemple, un touriste ayant des contraintes temporelles fortes et se déplaçant sur un trajet inconnu n'aura pas les mêmes besoins en information qu'un usager se déplaçant sur un trajet connu.

2. Terrain d'étude : Tictact, un projet pluridisciplinaire de conception d'un produit innovant

Notre étude de thèse s'est déroulée au Laboratoire des Interfaces Sensorielles et Ambiantes du CEA-LIST, dans le cadre du projet Tictact financé par l'Agence Nationale de la Recherche.

2.1. Le projet Tictact

Le projet Tictact vise à concevoir une interface multimodale exploitant de façon prédominante le sens du toucher et destinée à offrir un service d'information interactif personnalisé, discret, non intrusif et continu en situation de mobilité. Ce système d'information doit permettre de contourner la saturation des messages visuels et sonores en offrant à l'utilisateur une interaction haptique facile à comprendre et personnalisable. Il doit également permettre d'améliorer la qualité des déplacements tout en tenant compte de la variabilité des situations et des comportements. Il s'agit de développer un système d'aide au déplacement destiné à des usagers de tous âges et de toutes catégories. Le projet doit permettre aussi d'optimiser l'efficience de l'offre de déplacement dans le but d'induire pour l'usager une véritable invitation au déplacement en le rendant plus autonome et en lui offrant des services géo-localisés, adaptés à son profil ou à ses préférences et reliés en temps réel aux réseaux de transport disponibles.

Ce projet de recherche a la particularité de donner toute sa place à l'ergonomie pour donner un cadre à l'ensemble du processus de conception. Il s'agit de s'assurer que ce type de système répondrait aux attentes des usagers potentiels et de leur offrir une solution pérenne. L'objectif est également d'évaluer dans quelle mesure la modalité haptique est adaptée aux différents contextes de déplacement (dans le véhicule de transport, dans la station, en extérieur, avec ou sans foule, etc.) et en quoi elle peut améliorer l'activité de déplacement.

Ce projet vise à concevoir un dispositif haptique d'aide au déplacement et à en évaluer l'usage. Certaines caractéristiques du fonctionnement du système ont été fixées en amont du projet et sont en adéquation avec les savoir-faire et les compétences techniques de l'équipe de conception. Le système d'aide est composé d'un smartphone couplé à une interface haptique :

- le smartphone intègre, au sein d'une application mobile développée au cours du projet, des données de l'environnement extérieur grâce au GPS et des données de l'environnement intérieur (station de métro) grâce à des bornes wifi situées dans les stations du réseau RATP.

- l'interface haptique est commandée par l'application mobile du smartphone après que ce dernier ait intégré et traité les informations issues de l'environnement. L'interface haptique est une extension de l'application smartphone, offrant à l'utilisateur une modalité d'interaction innovante et complémentaire de celle de la vision habituellement utilisée. Au début du projet, cette interface haptique est une « inconnue intéressante », on ne sait rien sur la forme que devra pendre cette assistance à l'activité de déplacement, ni sur la manière dont cette assistance pourra être rendue possible.

La Figure 1 ci-dessous illustre le fonctionnement du système Tictact :

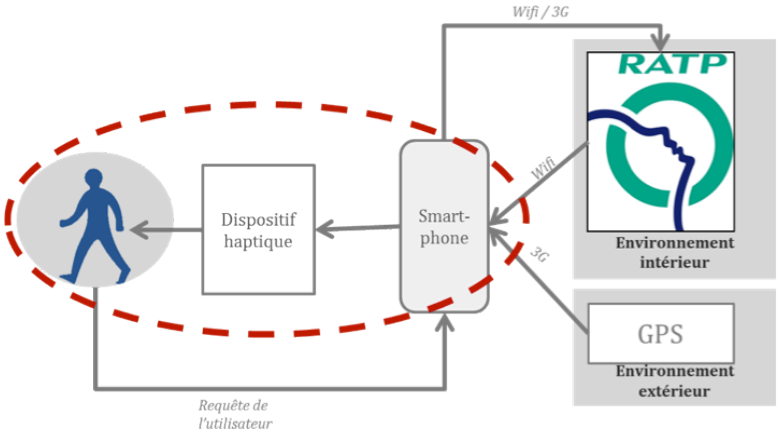


Figure 1. Schéma récapitulant le principe de fonctionnement du système Tictact fixé en amont du projet.

2.2. Une équipe de conception pluridisciplinaire

Les recherches sur l'interaction haptique prennent en compte plusieurs aspects complémentaires : l'usage de la modalité, la conception ergonomique de l'interaction, et la technologie utilisée pour la réaliser. Ces trois aspects doivent être considérés simultanément pour faire évoluer le dispositif de façon efficace. C'est le sens même de la complémentarité pluridisciplinaire. Le projet Tictact a réuni six partenaires regroupant des profils de compétences variés : chercheurs et ingénieurs en mécanique, électronique et informatique, designers et ergonomes (voir Annexe 1).

Le partenaire en charge de la coordination du projet est la Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP), établissement public à caractère industriel et commercial assurant l'exploitation d'une partie des transports en commun de Paris et de sa banlieue. Ce partenaire apporte ses connaissances sur les systèmes d'information existants dans les transports en commun ainsi que sur les caractéristiques des usagers du réseau. La RATP a fait appel pour le projet à trois organismes de recherche :

- Le laboratoire Armines (Ecole des Mines), spécialisé dans les technologies d'interfaçage comportemental de l'homme dans un monde virtuel.

- Le laboratoire THIM (Université Paris 8) qui travaille sur la conception d'interfaces multimodales et d'aides techniques adaptatives au handicap. Il apporte ses compétences pour la réalisation de l'étude des besoins et son expertise dans les systèmes d'aide au déplacement dans les transports en commun.

- Le laboratoire des Interfaces Sensorielles et Ambiantes (LISA) du CEA-List au sein duquel ce travail de thèse a été réalisé. Ce laboratoire effectue des recherches sur la conception et le développement de nouvelles techniques et technologies d'interaction humain-machine. Il s'intéresse notamment à l'amélioration de l'interaction à travers la modalité sensorielle en s'attelant à la rendre facile à comprendre, naturelle et accessible au plus grand nombre. Pour cela le laboratoire s'appuie sur des compétences pluridisciplinaires fortes.

Dans le souci de développer le produit final et en vue de sa commercialisation, la RATP a fait également appel à deux PME :

- La société Goobie, ayant pour activité principale la conception et la réalisation de systèmes électroniques complets (matériel, logiciel, packaging mécanique) en vue de leur industrialisation et leur fabrication en série. Au sein du projet, ils sont en charge de la conception du prototype fonctionnel de l'interface.

- La société Caminéo, spécialisée dans le développement informatique de guides multimédia nomades intégrant des fonctionnalités GPS, s'occupe de développer l'application smartphone permettant l'intégration des informations de l'environnement et le contrôle de l'interface.

2.3. Place de l'ergonomie dans le projet

L'espace de travail pluridisciplinaire conféré par le consortium est particulièrement propice aux échanges entre les différentes disciplines ainsi qu'entre les différents profils de compétence, notamment entre ingénieurs et ergonomes. Cela est notamment facilité par une équipe de conception ayant une bonne connaissance du rôle et du champ d'action de chacun. Les partenaires ont une attente forte à l'égard de l'ergonomie à toutes les étapes de la conception, et ils comptent sur son rôle pour stimuler l'innovation.

Dans le projet Tictact, l'ergonomie se positionne en tant qu'initiateur de la conception, en étant impliquée dès les premières étapes de la conception. L'ergonome va mettre en place une démarche de conception où « l'humain en activité » tiendra une place centrale. L'ergonome va créer un espace de conception créatif, tout en restant ancré dans l'activité pour garantir que le dispositif haptique soit adapté et accepté par les utilisateurs finaux.

3. Enjeux industriels

La conception d'interfaces humain-machine (IHM) mobiles intégrant la modalité haptique et permettant une interaction adaptée à l'activité de déplacement est un enjeu important du point de vue industriel. Actuellement, les interactions haptiques les plus utilisées au quotidien sont des alarmes produites par le vibreur des téléphones mobiles. De surcroît, ces interactions sont pauvres et manquent d'esthétisme. Cependant, l'utilisation du tactile dans les technologies de l'information est en plein développement. De récents exemples dans les domaines de la téléphonie mobile et des consoles de jeu vidéo font apparaître un réel potentiel pour les interfaces tactiles. Depuis 2005, grâce notamment à l'utilisation de nouveaux actionneurs tactiles et de signaux de commande complexes, un retour tactile amélioré a déjà été implanté dans un certain nombre de téléphones. Par exemple, les téléphones de la marque Samsung sont équipés de la technologie « VibeTonz » de la société Immersion permettant de délivrer des signaux distincts selon que l'utilisateur reçoit un message ou un appel entrant, ou encore qu'il appuie sur une touche d'un clavier tactile. Un autre produit grand public récent qui utilise les interfaces haptiques en entrée et sortie est la console de jeu Wii de Nintendo. Cette console offre une nouvelle façon d'interagir avec les jeux, en utilisant les gestes et en communiquant différents motifs de vibration en sortie grâce à un joystick. Ceci a également été rendu possible par l'avancée de la technologie et de sa miniaturisation. Ces deux

exemples montrent l'importance de l'avancée des technologies dans l'intégration d'un dispositif, mais aussi montrent l'intérêt d'enrichir les interactions haptiques. Le niveau de miniaturisation et l'intégration de capteurs et d'actionneurs permettent de lever certains verrous et rendent aujourd'hui envisageable la réalisation de systèmes compacts, mobiles et capables de fournir une interaction riche.

La technologie haptique est cependant très peu utilisée sur le marché. Elle est très peu intégrée dans les IHM de la vie quotidienne et très peu commercialisée pour le grand public. Les rares dispositifs commercialisés concernent un public très restreint qui est principalement celui des utilisateurs déficients visuels. Il existe cependant de nombreux projets de recherche travaillant et publiant sur l'utilisation de la modalité haptique dans les IHM. Par exemple, une ceinture vibrante permet de donner l'orientation à un piéton de (Tsukada & Yasumrua, 2004); le « GentleGuide », (Bosman, Groenendaal, Findlater, Vissert, De Graaf, & Markopoulos, 2003) permet de guider et d'alerter le piéton grâce à des bracelets vibrants portés sur chacun des poignets. Très peu de ces projets parviennent au stade de l'industrialisation (ETSI EG, 2002). Cela peut être dû au fait qu'une grande majorité de ces projets est portée par les ingénieurs. Ces derniers mettent l'accent sur les dimensions techniques et sous-estiment celles liées aux caractéristiques de la population réalisant l'activité. Cela entraine une insuffisance de prise en compte de l'activité humaine dans la conception. Il en résulte une inadéquation de l'outil conçu avec l'activité pour laquelle il est destiné. Le dispositif tient insuffisamment compte des logiques structurantes de l'activité et de ses variabilités. L'activité nécessite ainsi des régulations coûteuses pour les utilisateurs. Il existe également une insuffisance de prise en compte de l'activité humaine au moment de la mise en œuvre des nouveaux systèmes. Il en résulte un déficit d'expérimentation qui limite leur développement.

Ainsi, mettre en place une approche de conception et de conduite de projet dans le but de favoriser une meilleure prise en compte de l'activité de référence, une anticipation de l'activité future et une meilleure interaction entre les acteurs du projet devrait permettre d'aboutir à un produit répondant à de réels besoins, plus adapté à l'activité et accepté par les utilisateurs futurs.

4. Enjeux scientifiques

Le premier enjeu de cette thèse est d'apporter de nouvelles connaissances sur l'activité de déplacement piéton urbain et sur l'utilisation de la modalité haptique pour soutenir cette activité. L'ergonome va utiliser ses connaissances en IHM, en les modélisant dans l'activité à laquelle l'interaction est destinée. Le deuxième enjeu est d'ancrer la conception dans l'activité (situation écologique), et de l'inscrire dans une co-création participative, avec la contribution de l'usager-cible.

4.1. Comprendre l'activité de déplacement afin de définir les modalités sensorielles adaptées à chaque fonction d'un dispositif d'aide

Plusieurs objectifs complémentaires sont visés :

- Comprendre ce qu'est l'activité de déplacement compte tenu de l'évolution des ressources avec l'apparition et la démocratisation des nouvelles technologies telles que le smartphone.
- Atteindre une meilleure connaissance de l'intérêt et des limites de l'haptique comme modalité d'interaction avec un système d'aide dans les différents contextes du déplacement piéton urbain.
- Favoriser une augmentation de l'utilisation de la modalité haptique pour les interactions grand public en particulier pour son utilisation dans des situations où la modalité visuelle et la modalité auditive sont insuffisantes ou inappropriées.

4.2. Enrichir les connaissances sur la conception et l'usage d'une interaction adaptée à l'activité

L'objectif est d'apporter une meilleure prise en compte de l'utilisateur et de son activité dans la conception de l'interaction haptique en situation de mobilité en élaborant une méthode de conception participative.

Malgré le développement de technologies de plus en plus performantes des interfaces haptiques, celles-ci restent pour la plupart dénuées de sens pour l'utilisateur ce qui les rend alors non acceptées et inutilisées. C'est par exemple le cas pour l'application développée par Pielot, Poppinga, & Boll, (2010) qui permet grâce au vibreur du téléphone de guider un piéton mais dont le langage d'interaction a été choisi arbitrairement ce qui le rend difficile à apprendre et à utiliser. Les difficultés d'acceptation des dispositifs haptiques peuvent être dues au fait que les recherches dans le domaine ont pour la plupart une approche de conception techno-centrée dont découle des interfaces non adaptées à l'activité. Certains prototypes utilisent des interactions haptiques (Miller & Zelzenik, 1998) mais il existe cependant peu d'évaluations sur l'usage de ce type d'interaction en situation écologique.

4.3. Enrichir les connaissances sur la place de l'ergonome dans un projet de conception de produit innovant

Cette thèse va également permettre d'enrichir le corpus de connaissances sur l'activité de l'ergonome en position de co-concepteur dans un projet de conception de produit innovant et permettre une réflexion sur les apports et les limites des méthodes utilisées en ergonomie pour la prospective des usages.

Il y a une dizaine d'années, l'intervention se faisait plutôt en aval de l'identification des besoins et de la construction d'un prototype. L'ergonome était généralement appelé pour évaluer des dispositifs déjà conçus. Ainsi, il intervenait trop tard pour apporter les modifications nécessaires sans augmenter radicalement le coût du projet. Actuellement, la plupart des études sur l'intervention d'ergonome co-concepteur relatent la présence de ce dernier dans les premières phases de conception avec une participation à l'analyse des besoins. Cependant, peu d'études rapportent l'intervention de l'ergonome dans la phase de conception à proprement parler. Les méthodes de conception ergonomique et leur intégration dans le processus font pourtant l'objet de normes (par exemple, NUREG-0711, 1994 ; ISO 13407, 1999;). D'un autre côté, l'ergonomie dispose de peu de connaissances sur la manière dont les (Robert & Brangier, 2009) ergonomes peuvent piloter le processus de conception, et encore moins dans un cas de conception innovante.

La conception d'un nouveau produit consistant à intégrer l'haptique dans un dispositif d'aide au déplacement urbain place le projet Tictact dans le champ de l'ergonomie prospective. Cette branche de l'ergonomie a fait l'objet de travaux récents (Nelson, Buisine, & Aoussat, 2012; Brangier & Robert, 2014). L'ergonomie prospective est définie comme « la partie de l'ergonomie qui tente d'anticiper les besoins et activités humaines afin de créer de nouveaux artefacts qui seront utiles et fourniront une expérience utilisateur positive ». Elle marque une évolution de la discipline par rapport à son champ d'intervention classique, qui comprend d'une part la correction de dispositifs existants, et d'autre part l'optimisation des choix opérés au fil du processus de conception. Au-delà de la proposition et de la validation de nouvelles méthodes pour l'intervention, le développement de l'ergonomie prospective nécessite de formaliser plus clairement son champ d'action.

II. PARTIE THEORIQUE

L'étude de l'apport de la modalité haptique dans le cadre d'un projet de conception d'un outil d'aide au déplacement piéton urbain nécessite d'explorer quatre thématiques :

1 - L'activité de déplacement piéton urbain et les cadres théoriques en ergonomie permettant d'analyser cette activité.

2 - Les aides au déplacement piéton urbain.

3 - Rôle de la perception haptique pour le déplacement.

4 – Concevoir un outil haptique d'aide au déplacement.

5 - Le rôle de l'ergonome, co-concepteur d'un système innovant.

1. Activité de déplacement piéton urbain : approche cognitive et ergonomique

La navigation humaine a fait l'objet de nombreuses recherches dans différentes disciplines notamment en sciences cognitives, en cartographie, en urbanisme et en Interaction Humain-Machine (IHM). De ces recherches, se dégage un consensus pour affirmer que l'individu acquiert, code, emmagasine, décode et utilise des informations lui permettant de créer des représentations spatiales, notamment pour réaliser l'activité de déplacement piéton. L'individu s'appuie ainsi sur ses propres représentations mentales pour prendre des décisions spatiales et pour guider ses déplacements dans l'environnement mais il s'appuie également sur les éléments contextuels ainsi que sur les outils d'aide existants : carte, signalétique, GPS, etc.

1.1. Représentation mentale spatiale

La variété des interactions possibles de l'homme avec l'espace, la variété des moyens dont il dispose pour extérioriser ses connaissances spatiales et la variété des espaces qu'il peut traiter font de la cognition spatiale un champ de recherche particulièrement vaste. La cognition spatiale est la connaissance essentielle nécessaire à la construction d'une représentation mentale d'un lieu (Denis, 1997). Deux types de connaissances spatiales peuvent être considérés : celles qui proviennent de sources directes telles que la navigation et l'exploration visuelle et celles qui proviennent de sources indirectes : le langage et les substituts symboliques tels que les cartes ou les plans, (Fontaine, 2000).

Par la navigation ou l'exploration visuelle, l'individu a un fonctionnement autonome, efficace et sûr dans son environnement physique et social, pour obtenir une qualité satisfaisante de ses déplacements. A partir de ses interactions avec l'environnement, l'individu construit des représentations cognitives de l'espace, qui résultent de nombreux processus mentaux et dynamiques (Gärling, Laitila, & Westin, 1998). Connaître un environnement est un processus dynamique dans lequel l'information est constamment mise à jour, complétée et améliorée à court et long terme (Golledge, 1999). Grâce au processus de construction des représentations spatiales l'individu anticipe, planifie son déplacement, détermine la direction à prendre, identifie ou reconnaît un lieu. Les connaissances spatiales participent donc à toutes les tâches liées à l'orientation spatiale.

Lorsqu'on utilise le langage ou d'autres substituts symboliques, pour transmettre ou partager des représentations spatiales, cette activité de communication pose des problèmes de traduction difficile car il faut passer efficacement d'un format de représentation à un autre sans trahison lors de la traduction ni erreur dans l'interprétation (Daniel, 2012). Faire partager et transmettre des connaissances spatiales requiert l'exercice de plusieurs sortes d'aptitudes : se représenter l'espace (représentation mentale de l'environnement), acquérir et mémoriser l'espace (compétence visuo-spatiale), se déplacer dans un environnement et planifier un itinéraire ou encore le décrire.

Il est donc intéressant et nécessaire de s'intéresser aux processus cognitifs qui interviennent dans la construction de la connaissance spatiale afin de comprendre ce qu'est l'activité de déplacement pour pouvoir l'assister de façon adaptée.

1.2. La construction des connaissances spatiales

La connaissance spatiale est le produit de l'intégration progressive de l'information spatiale. Cette information spatiale peut être extraite de l'environnement, emmagasinée en mémoire pour quelques temps ou inférée à partir d'autres informations spatiales. L'acquisition de connaissances sur un environnement dans lequel on est amené à agir peut s'effectuer au travers de plusieurs modalités sensorielles. A partir des différentes connaissances perceptuelles sur l'environnement, nous pouvons nous former, à l'aide de différentes stratégies, une représentation unique de

l'environnement. La perception de notre environnement est bien la base nécessaire à l'acquisition de connaissances sur l'environnement. C'est habituellement la perception visuelle qui fournit les compétences et les ressources de base nécessaires permettant les principales interactions avec l'environnement physique et social. La vision permet de prendre conscience de notre position et d'actualiser les informations.

1.2.1. Cadres de référence

Nos représentations mentales de l'environnement ne sont pas toutes identiques. En fonction de nos connaissances sur l'environnement, nos capacités personnelles à encoder et à mettre en relation les éléments, nous nous construisons différentes représentations des contextes qui nous entourent. Plusieurs cadres de référence sont possibles pour construire une représentation spatiale : soit en fonction du seul point de vue de l'observateur, soit en fonction des caractéristiques générales de l'environnement. Selon le cadre de référence adopté, la représentation spatiale d'une même configuration n'aura pas les mêmes caractéristiques. L'Homme dispose de nombreuses sources d'acquisition de connaissances spatiales pour se construire des représentations et ce, même à distance des environnements. L'être humain est d'ailleurs capable de s'affranchir de sa propre perspective. Par le langage ou la pensée, nous pouvons prendre sur une scène n'importe quel point de vue : égocentré, allocentré, ou mixte (Tversky, Taylor, & Mainwaring, 1997). Les représentations spatiales peuvent être construites soit en perspective «trajet» de type égocentré, correspondant au point de vue du piéton lors d'une expérience ambulatoire soit en perspective «survol» de type allocentré, correspondant au point de vue en hauteur, telle une « vue d'avion » permettant d'avoir une représentation d'ensemble, beaucoup plus large.

1.2.1.a) Représentation de type égocentrée

La représentation de type « trajet » correspond à un cadre de référence égocentré, qui est construite selon la perspective du piéton. Elle correspond à la localisation d'un repère par rapport à la personne en déplacement. La connaissance de l'espace se fait à partir de l'enregistrement en série de points de repère à mesure que l'individu navigue dans l'espace. Ce type de connaissance est séquentiel, les individus se dirigent progressivement dans l'environnement sans avoir une représentation des éléments environnants qui sont hors de la vue immédiate. Le description verbale d'un parcours offre généralement une vision égocentrée mais des personnes peuvent également se construire une représentation en survol à partir de descriptions verbales (si celles ci sont apprises par cœur ou formées sur une base de description en survol). La vision égocentrique est très efficiente car les informations sur les directions sont accessibles et utilisables directement.

1.2.1.b) Représentation de type allocentrée

La représentation de type « carte » a elle, un cadre de référence allocentré. C'est à dire que le cadre est relatif à la localisation d'un repère par rapport à un autre repère. Cette représentation est basée sur une connaissance des propriétés topographiques de l'environnement, telles que la localisation d'objets par rapport à un système allocentrique de coordonnées fixes. C'est donc une représentation indépendante de la position de l'individu et son rôle est crucial dans la capacité de l'utilisateur à déterminer la distance et la direction de lieux ou de repères situés en dehors de son champ de vision ou à établir des relations spatiales entre des lieux dont les liens n'ont pas déjà été explorés physiquement (Meilinger, Knauff, & Bülthoff). Ce type de connaissance permet d'apprendre la configuration d'un espace. La représentation de type carte permet d'effectuer des inférences sur l'environnement afin de trouver de nouveaux chemins, ou des raccourcis par exemple. Etant indépendante de la position de l'individu, cette représentation permet de créer des relations entre des lieux qui ne sont pas directement accessibles par la vision immédiate. La carte offre une représentation allocentrée. Les personnes peuvent, soit la lire séquentiellement, soit se créer une représentation globale de l'espace. Les connaissances en survol sont beaucoup plus flexibles que les connaissances sur les routes et les repères. Elles favorisent l'accès rapide à des itinéraires différents, éventuellement à des raccourcis. Toutefois, la vision globale que permet la carte peut se transformer en une vision égocentrée par l'individu principalement quand il doit suivre un itinéraire. Ce mécanisme demande un effort cognitif pour l'individu (Heuten, Henze, Boll, & Pielot, 2008). Une étude (Van Asselen, Fritschy, & Postma, 2006) montre que l'acquisition des connaissances sur les routes (vision égocentrée) demande moins d'effort que les connaissances en

survol (vision allocentrée). Cependant, l'avantage d'une représentation allocentrée est qu'elle fournit des informations stables sur l'environnement : les distances et les directions restent constantes malgré les variations temporaires du point de vue de l'observateur.

1.2.2. Contenu des représentations mentales spatiales : les cartes cognitives

1.2.2.a) Les niveaux de représentations mentales

Il existe différents niveaux de représentations mentales de l'espace.

Il est communément admis de définir trois niveaux d'information spatiale (Chen & Stanney, 1999):

(1) les repères : informations sur des détails visuels d'emplacements spécifiques dans l'environnement. Ces connaissances ont probablement la forme d'icônes et d'images ou les données sensorielles qu'elles représentent. Ce type de connaissance peut être acquis soit directement dans l'environnement soit indirectement à l'aide de représentations de l'environnement (ex : photo). La reconnaissance des points de repères dépend de la précision de la connaissance du repère. Ce type de connaissance est une composante fondamentale des deux autres niveaux de connaissance spatiale.

(2) les trajets/procédures : informations sur la séquence d'action nécessaire pour suivre un itinéraire d'un point de départ à une destination. Un trajet lie les repères entre eux par un chemin.

(3) les cartes/connaissances d'ensemble : configuration des relations entre lieux et itinéraires dans un environnement ou bien encore l'encodage des propriétés topographiques d'un espace. Ce type de connaissance peut être acquis directement ou par l'intermédiaire d'une carte par exemple, qui intègre les différents trajets et lie les repères dans un plan.

1.2.2.b) Les cartes cognitives

Les « cartes cognitives », sont des représentations intériorisées de l'environnement spatial, de ses propriétés métriques et des relations topologiques entre les éléments. Tolman, (1948) est le premier a avoir proposé cette notion de « carte cognitive » globale, qui permet la fusion de points de vue différents en une seule représentation avec la possibilité d'adopter mentalement une perspective ou une autre selon, par exemple, les caractéristiques de l'action à entreprendre.

Les cartes cognitives sont des constructions mentales correspondant à une partie plus ou moins étendue de l'espace physique dans lequel l'individu se situe et à l'intérieur duquel il est susceptible de planifier un déplacement. Ces cartes sont donc supposées aider à simplifier, coder, ordonner les interactions de l'homme avec son environnement (Golledge,1999; Fontaine, 2000). Il semble toutefois que le degré de connaissance d'un environnement peut-être extrêmement variable d'une personne à l'autre : on peut prêter attention et donc mémoriser des caractéristiques très différentes d'un même environnement (Golledge, 1999). Les cartes cognitives possèdent ainsi des degrés de précision très variables selon les individus et constituent des représentations de l'espace pouvant aller du flou le plus complet à un niveau de résolution quasi cartographique. La route est représentée comme une suite de segments liés à une dimension ou comme une configuration en réseau, après intégration avec d'autres routes. Cette configuration en réseau avec des points de repères et des relations spatiales ou non spatiales des lieux permet de se rappeler le plan d'un environnement. La route apprise et la route suivie aident à la construction d'une carte cognitive via l'intégration de processus.

Les relations métriques, temporelles et hiérarchiques sont acquises progressivement au fil des parcours. L'individu élabore des représentations tout d'abord visuelles puis organisées en séquence par l'action. Ensuite sont élaborées des représentations abstraites et manipulables telles que les plans. Un espace moteur permettant la planification de l'action, un espace visuel perceptif comportant une composante métrique et un espace plus abstrait coexistent au sein de l'esprit. Les modes de représentation sont multiples et coexistent. Les représentations mentales spatiales sont formées de multiples cartes cognitives liées entre elles, éventuellement fragmentées, constituées de « collages » (Tversky, Franklin, Taylor, & Bryant, 1994) dans lesquelles peuvent être encodées des informations propres à une modalité sensorielle particulière, ou propres à un objectif particulier.

Mais il ne semble pas que les représentations mentales de l'espace soient toutes codées automatiquement dans un format abstrait et amodal pour leur mémorisation (Michon & Denis, 2001).

Les difficultés ressenties à l'intégration mentale de différentes routes et de leurs fonctions associées au sein d'une structure en réseau ont expliqué pourquoi les cartes cognitives peuvent être fragmentées, déformées et irrégulières. Pour la réussite du déplacement, il est nécessaire d'être capable d'identifier l'origine et la destination, l'angle pour lequel il faut tourner, identifier la longueur du segment et les directions du mouvement, reconnaitre la distance des points de repère sur la route et intégrer la route qui doit être prise dans un cadre de référence plus grand. Si une destination est connue mais n'est pas directement connectée par une route à l'origine, le succès du déplacement va impliquer recherche et exploration, l'utilisation de points de repères, la mise à jour spatiale de chaque point de localisation, la reconnaissance de la longueur du segment ainsi que la séquence, l'identification du cadre de référence et de la trigonométrie. La question qui se pose alors est comment acquérons-nous les connaissances spatiales nécessaires à une navigation efficiente ?

1.3. Approche psychologique : navigation humaine

La navigation correspond au fait de suivre un itinéraire en s'orientant correctement, en choisissant la route à suivre, en restant sur sa voie et en reconnaissant le point d'arrivée (Ross & Blasch, 2000). Cette navigation s'effectue très souvent dans des situations diverses avec des contraintes très différentes, que cela soit en situation de recherche d'un bâtiment dans une ville, en se déplaçant à pied, en vélo, en transports en commun, ou encore lors d'une promenade en forêt.

Le but à atteindre implique la planification d'étapes intermédiaires et le recours à différents moyens pour y parvenir. Pour trouver sa route, on peut explorer un environnement un peu au hasard, ou bien voyager à l'intuition, par approximation, ou encore suivre un guide, lire une carte, utiliser les informations issues d'un smartphone, se référer à une description d'itinéraire, suivre des panneaux. Il est hautement recommandé de disposer au moment opportun d'informations exactes, précises et accessibles sur les moyens les plus adéquats à mettre en œuvre pour atteindre la destination recherchée. Les outils d'aide au déplacement sont là pour répondre à cet impératif. La navigation est parfois presque totalement assistée. C'est le cas des situations où l'on suit pas à pas les instructions d'une tierce personne ou d'un GPS. La part d'initiative est alors réduite au processus passif de « route following ». Dans ce cas, l'utilisateur se contente de suivre les instructions qui lui sont fournies pas à pas et n'a que très peu recours à une représentation mentale qu'il aurait pu construire de l'environnement global.

Dans la littérature, nous remarquons parfois une ambiguïté dans le vocabulaire autour du concept de navigation. Afin de clarifier ce concept, nous avons choisi la définition de Montello, (2005) qui fait consensus (Darken & Peterson, 2002).

La **navigation humaine** peut-être conceptualisée en deux composants qui ne peuvent se dérouler l'un sans l'autre : le **wayfinding** et la **locomotion**

L'activité de **wayfinding**, (nous conservons le terme anglais, largement admis dans la littérature) représente l'ensemble des processus cognitifs dirigés et motivés consistant à déterminer et suivre un itinéraire entre un point d'origine et une destination à atteindre dans un environnement familier ou inconnu (Passini, 1984 ; 1996 ; Golledge, 1995). Cela se traduit du point de vue comportemental par une succession d'actions sensorimotrices à travers l'environnement. Ces actions sensorimotrices résultent de l'implantation d'un plan de voyage, ou itinéraire, qui est une activité dynamique qui définit une séquence de segments et de changements d'orientation constituant le chemin à suivre. Le plan de voyage prend en compte la stratégie choisie pour la sélection de son chemin. Pour atteindre avec succès le but du wayfinding on utilise nos habiletés naturelles, l'environnement directement accessible par nos sens mais également des aides extérieures, telles que des plans ou des cartes, ainsi que des éléments stockés en mémoire. Ces éléments constituent nos connaissances spatiales de l'environnement concerné. Ainsi, le wayfinding est la partie active et efficiente de la navigation, il est lié au but et implique la résolution de problèmes spatiaux entrainant la prise de décisions explicites telles que choisir la route à prendre, s'orienter à l'aide de repères non obligatoirement perceptibles, se créer des raccourcis, planifier son trajet dans différents contextes incluant les environnements extérieurs et urbains, ou encore les espaces intérieurs (Golledge, 1995).

La **locomotion** : c'est la partie en temps réel de la navigation, par laquelle nous bougeons dans une direction. Cela implique une certaine coordination entre notre corps et l'environnement directement accessible à nos sens ainsi qu'au système moteur. La locomotion implique la résolution de problèmes tels que l'identification de surfaces, l'évitement d'obstacles ou encore le fait de diriger ses mouvements à travers des repères perceptibles (exemple : objet en vue à l'horizon).

Ce travail porte principalement sur le concept de wayfinding, composant de la navigation nécessaire à assister lors du déplacement piéton urbain d'une population cible n'ayant pas spécifiquement de déficience visuelle.

1.3.1. Processus mentaux impliqués dans la navigation

Le wayfinding prend en compte tous les processus mentaux impliqués dans le déplacement. Les décisions prises pour la réalisation du wayfinding dépendent en partie des informations environnementales qui sont acquises pendant la navigation (Chen & Stanney, 1999). Les gens acquièrent des informations de l'environnement grâce à différents moyens : par la perception directe de celui-ci, en le situant par rapport à des expériences de trajet passés, ou par inférences de combinaisons d'informations disponibles (à partir de description d'autres personnes, d'instruments de navigation tels que les cartes, ou encore les GPS). Le processus de wayfinding est une activité dynamique qui implique une résolution de problèmes en continu. En effet les individus ont souvent un but lorsqu'ils se déplacent à travers un environnement et généralement, ils n'ont pas un plan détaillé en tête en réalisant les tâches de wayfinding. De plus les éléments du contexte peuvent faire évoluer la planification. La plupart des détails du plan de décision sont formulés au cours de la réalisation de l'itinéraire (Chen & Stanney, 1999).

Il existe une distinction entre carte cognitive, orientation et wayfinding. Une personne peut se retrouver dans un réseau complexe de transport en commun tout en sachant très bien ce qu'elle a à faire pour atteindre la destination mais en ignorant les relations spatiales de ce qui l'entoure. Le wayfinding désigne la capacité de l'homme à atteindre une destination dans un environnement familier ou inconnu. Le wayfinding prend en compte tous les processus mentaux impliqués dans la mobilité, il est composé de trois phases distinctes et non strictement chronologiques (Passini, 1996; Chen et Stanney, 1999; Daniel & Denis, 1998) (voir Figure 2):

(1) Traiter l'information provenant de l'environnement, provenant des expériences passées et présentes.

Expériences passées : Pour activer une représentation interne de l'environnement (carte cognitive), les individus sollicitent une représentation mentale de l'environnement issue d'apprentissages antérieurs et stockée dans la mémoire à long terme. De la qualité de cette représentation mentale dépend la pertinence des choix de parcours effectués.

Expériences présentes : La résolution de problèmes spatiaux est aidée grâce à des repères spatiaux que l'on trouve dans l'environnement, ce que l'on nomme « information spatiale » (Passini, 1996). Ainsi, une quantité suffisante d'information sur les paramètres spatiaux est nécessaire pour accomplir les tâches de wayfinding. Passini, (1996) classe ces deux types d'informations en trois catégories :

- informations sensorielles disponibles uniquement à travers les sens,
- informations mémorisées pouvant être rappelées au fil du temps et information inférée,
- combinaison entre informations sensorielles et mémorisées.

Différentes stratégies de wayfinding peuvent être adoptées en fonction de l'information disponible et du style de wayfinding de la personne.

(2) Définir la route la plus «efficace» qui permette à l'utilisateur d'atteindre son but. C'est un processus de prise de décision permettant de résoudre un problème qui n'est pas toujours clairement défini. Il existe une multitude de solutions, aucune n'est bonne ou mauvaise mais chacune est partiellement optimale. Au cours de ce processus, les individus planifient et structurent leurs actions dans un plan global de wayfinding. Cette phase va s'appuyer sur les informations précédentes par rapport à des tâches spécifiques et permettre de formuler la procédure à suivre pour réaliser son parcours.

(3) Exécuter le plan et le transformer en décisions comportementales au bon moment et au bon endroit tout au long de la route.

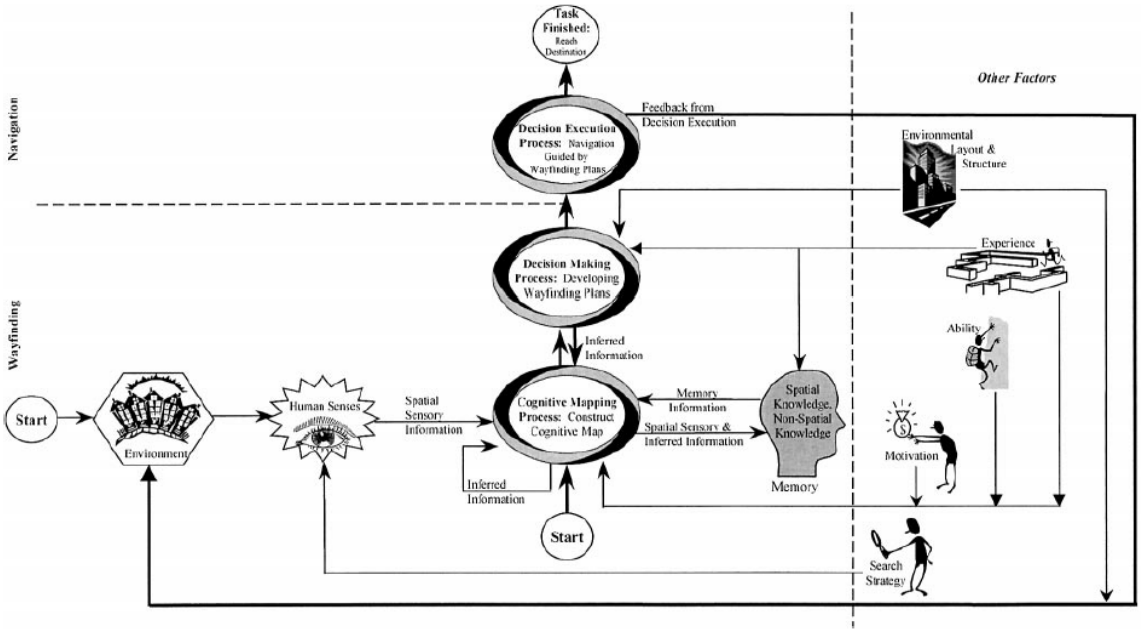


Figure 2. Modèle de Chen & Stanney (1999) repris en partie de Passini (1996).

Heuten, Henze, Boll, & Pielot, (2008) soulignent également l'importance de la vérification d'être sur la bonne route. Le navigateur surveille la route et s'assure pendant le mouvement d'être toujours sur la voie choisie. Cela signifie que le navigateur prend les bonnes décisions au point de décision. Le navigateur effectue en permanence cette tâche de vérification. Pendant cette activité le navigateur s'oriente constamment dans l'environnement et fait le plan de sa localisation actuelle sur sa carte cognitive, même partielle. Les repères jouent un rôle important dans cette activité. Ils sont observés par le navigateur en permanence. Chaque mouvement résulte de la perception de repères confirmant que la locomotion est conforme à la route choisie. Le navigateur va donc faire des ajustements pour rester sur le chemin.

1.3.2. Planification d'itinéraire et wayfinding

Un autre mécanisme cognitif activé lors de la navigation est la planification. Elle est définie comme l'élaboration et la mise en œuvre des plans dans la réalisation d'une tâche (Hoc, 1987). En situation de recherche d'information, la planification consiste à établir des moyens visant à atteindre l'information utile. La planification s'appuie sur les connaissances internes de la personne, les connaissances de l'environnement, les connaissances de la tâche à accomplir. En situation de navigation, la planification utilisée est la planification des routes qui permet une anticipation du chemin à venir.

Hoc, (1987) définit la planification comme « l'élaboration et/ou l'utilisation de représentations schématiques et/ou hiérarchisées (plans) susceptibles de guider l'activité». Deux aspects essentiels de la planification sont à rappeler :

- l'aspect «anticipation», le plan est considéré comme un projet, une représentation qui précède l'exécution

- l'aspect «schématisation», le plan comme un abrégé, une représentation plus ou moins abstraite.

Les décisions prises pour la réalisation du wayfinding dépendent en partie des informations environnementales qui sont acquises pendant la (Chen & Stanney, 1999). Le processus de wayfinding implique une résolution de problème en continu. Un individu peut avoir un but lorsqu'il se déplace à travers un environnement, mais sans avoir un plan détaillé en tête en réalisant les tâches de wayfinding. De plus les éléments du contexte peuvent faire évoluer la planification. La

plupart des détails du plan de décision sont formulés au cours de la réalisation de l'itinéraire (Chen & Stanney, 1999).

1.3.3. Spécificité du wayfinding dans les environnement souterrains

L'environnement urbain est un espace ouvert alors que l'environnement souterrain est naturellement un espace fermé. Cette condition va avoir un impact sur les besoins en information et la façon de se déplacer. L'information disponible dans l'espace urbain vise prioritairement les automobilistes. De fait, le piéton se repère en fonction d'une signalétique qui est parfois inadéquate. La signalétique peut potentiellement guider le piéton en promenade urbaine mais de toute évidence cette signalétique ne concerne pas le piéton en transit entre deux moyens de transport collectif.

En environnement souterrain, dans une station de métro, le moyen mis en œuvre pour se déplacer correspond à ce qu'Allen définit comme le suivi de points de repères. Des balises sont utilisées pour marquer les destinations les plus fréquentées dans de larges environnements construits et peu différenciables (souvent utilisation d'un code couleur). Les marques à suivre réduisent la demande cognitive du voyageur. La demande cognitive de suivi de points de repères s'intensifie si de nombreux chemins sont indiqués comme dans le du station de métro complexe (pôle d'échange). Ce moyen est efficace pour un trajet non connu dans un environnement familier. Cela est aussi la méthode standard pour localiser une nouvelle destination dans un environnement inconnu. La réussite ou non de ce moyen de mise en œuvre du wayfinding dépend de la reconnaissance du point de repère qui peut être issue d'une expérience passée ou bien de descriptions et du rappel des relations spatiales qui y sont associées.

Dans les stations de métro, la signalétique accompagne le piéton de son entrée jusqu'au quai et inversement du quai jusqu'à la sortie. Cependant cet accompagnement n'est pas toujours cohérent et adapté et le piéton peut également se trouver en situation de surcharge émotionnelle (Huska-Chiroussel & Nunes Magalhaes, 2002). En environnement souterrain, l'usager est en situation de « suivi d'indication », l'usager est complètement dépendant de la signalétique, ce qui suggère une passivité dans ses déplacements. Or la structure de certaines stations rend parfois la communication d'informations difficile et par conséquent la signalétique ne lève pas toutes les ambiguïtés sur ces sites. En conséquence, un système de signalétique doit être pour un maximum d'efficacité, constant, cohérent sur l'ensemble des trajets proposés dans les stations (Fontaine & Denis, 1999). L'usager rencontre également des difficultés pour faire le lien entre l'environnement souterrain et urbain.

1.4. Approche psycho-ergonomique : l'activité de déplacement

L'approche psycho-ergonomique va analyser le déplacement piéton à travers différents modèles, dont le modèle central est celui de l'activité. Le déplacement est un processus dynamique dans lequel l'utilisateur doit réaliser différentes tâches. Les démarches ergonomiques fondées sur une analyse de l'activité impliquent une prise en compte des différentes composantes d'une situation et en particulier des interactions liées au contexte (Verillon & Rabardel, 1995).

1.4.1. Une activité située

Le terme d'action située souligne que l'organisation de l'action se construit dans la dynamique des interactions avec une situation. La conception « située » limite le rôle des plans et remet en cause l'existence de représentations symboliques internes des activités cognitives (Relieu, Salembier, & Theureau, 2004). Il y a une limitation du rôle fonctionnel des plans, qui n'est qu'une ressource qui ne détermine pas l'action (Suchman, 1987).

L'action est située car elle prend place dans un environnement et une situation bien précise. Ici, l'accent est porté sur les déterminants contextuels de l'activité, soulignant le caractère opportuniste, improvisé et «in situ» de l'action. Chaque activité est alors, par définition, unique et formée par la rencontre des différents facteurs intervenant dans le déroulement de la situation. Les différents facteurs constitutifs d'une situation, par leur évolution constante, nécessitent donc que l'individu s'adapte et fasse preuve de flexibilité. L'imprévisibilité des conséquences d'une action entraine une analyse de la situation tout en prenant en compte les caractéristiques immédiates de

celle-ci. Le caractère changeant de ces caractéristiques entraine un ajustement immédiat de l'individu qui prend en compte les nouvelles caractéristiques de la situation. Ainsi le contexte de l'action ne doit pas être considéré comme un élément prédéterminé et extérieur à l'action, mais comme une ressource qui donne un sens à l'action. Les buts définissent en partie le contexte de l'action et réciproquement le contexte influence l'organisation de l'action (Leplat & de Montmollin, 2001). La cognition est alors décrite comme un phénomène d'interaction entre un acteur et sa situation et non comme un phénomène interne à l'acteur relayé par l'action (Theureau, 2005).

Les écarts évoqués font souvent référence à la gestion des événements ou des incidents, ils mettent cependant peu l'accent sur les éléments de contexte. Par exemple, pour les usagers de transports en commun, le déroulement d'un trajet peut être défini comme l'enchaînement de trois phases : la préparation du trajet qui se déroule le plus souvent chez soi et vise à planifier le trajet, la réalisation du trajet qui va inclure la vérification par l'utilisateur du suivi de son plan ainsi que des ajustements, et la capitalisation des évènements rencontrés, ce qui va permettre d'en tirer des connaissances supplémentaires pour de futurs voyages (Patesson & Lecomte, 1999).

En réalité, les objectifs et les actions peuvent dépendre des contextes : en cours de trajet, un incident peut impliquer un changement d'itinéraire ; selon l'endroit où se produit l'événement, les possibilités pour définir un nouvel itinéraire ne seront pas les mêmes. La situation n'influence pas seulement le déroulement de l'activité. Les critères de caractérisation des profils utilisateurs vont également avoir un impact, comme le niveau d'expérience par exemple. Les caractéristiques de la situation déterminent la tâche privilégiée par l'utilisateur. Il n'en reste pas moins vrai que deux ou plusieurs tâches peuvent être suivies de manière simultanée ou très proche dans le temps. (Mundutéguy, 2001). Cette considération linéaire des déplacements semble également obsolète du fait de l'accès à des applications disponibles sur dispositif mobile permettant à l'usager de planifier son parcours en cours de mobilité et d'interroger les systèmes d'informations mis à disposition par les réseaux à toutes les étapes de son déplacement. La mise à disposition d'informations aux voyageurs, accessibles sur dispositif nomade et à l'intérieur du réseau de transport, peut modifier considérablement les stratégies de prise d'information. L'usage de ces nouvelles technologies et des réseaux d'information qui les sous-tendent vont impacter le comportement des usagers, que ces derniers soient occasionnels ou réguliers.

Les démarches ergonomiques fondées sur une analyse de l'activité impliquent une prise en compte des différentes composantes d'une situation et en particulier des interactions liées au contexte (Verillon & Rabardel, 1995). La prise en compte du contexte d'usage dans une démarche de conception d'un dispositif d'assistance au déplacement est donc essentielle (Valentin, Lancry, & Lemarchand, 2010) afin de pouvoir analyser l'impact de ce dernier sur l'interaction entre l'utilisateur et le dispositif (voir Figure 3).

Pour l'activité de déplacement piéton urbain, nous pouvons décrire la situation d'usage selon quatre principales composantes (Stern & Portugali, 1999):

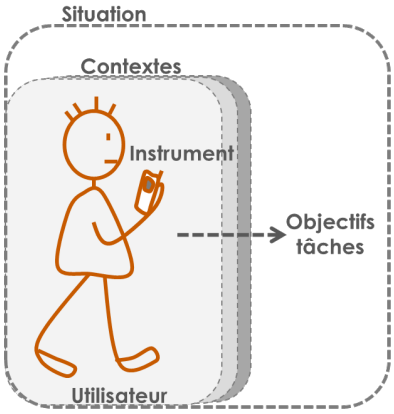


Figure 3. Les principales composantes de la situation d'usage (Valentin, Lancry, & Lemarchand, 2010; Rabardel & Pastré, 2005).

- l'objectif du déplacement (fréquence, environnement connu/inconnu, objectifs)
- le naviguant (caractéristiques cognitives, son expérience, etc.)

- le moyen de navigation (contraintes inhérentes à ce mode de déplacement/outil, etc.)
- l'environnement dans lequel a lieu le déplacement.

Nous allons à présent nous intéresser plus en détail à chacune de ces composantes de la situation d'usage.

1.4.1.a) L'objectif /le motif de déplacement

(Allen, 1999) définit trois buts possibles de déplacement :

- Déplacement en partant d'un point familier pour rejoindre une destination familière (exemple : trajet entre le domicile et le lieu de travail),
- l' «exploration» (exemple : s'installer dans une nouvelle ville et explorer les environs),
- le «voyage» vers une nouvelle destination (exemple : wayfinding guidé par une carte).

Uzan et al., (2011) expliquent que les déplacements d'un piéton peuvent être regroupés selon quatre grandes catégories de motifs correspondant aux causes et buts du déplacement :

- l'activité physique en elle-même (exemple : jogging, promenades),
- les relations sociales avec les autres (exemple : balade, faire ensemble, discussion),
- la connaissance d'un environnement (exemple : point d'intérêt, tourisme, architecture),
- atteindre un lieu, une personne ou un objet.

Lors du déplacement, ces motifs peuvent être seuls ou associés selon les configurations possibles, intentionnellement ou non et apparaitre ou disparaitre en cours de trajet. Ils peuvent également être prioritaires ou secondaires lors de la préparation du trajet et ces priorités peuvent changer pendant le trajet. Notre projet de recherche incluant le déplacement en transport en commun, nous avons ciblé notre étude plus particulièrement sur le motif consistant à atteindre un lieu ou une personne sans pour autant négliger les autres motifs dont l'importance croit avec l'évolution des systèmes d'informations nomades.

1.4.1.b) Le navigant / l'utilisateur

Différents facteurs liés au navigant vont influencer le déplacement :

- **L'expérience** : les expériences différentes et nombreuses vont avoir un impact sur les connaissances spatiales ainsi que sur leurs utilisations au cours du temps. La cognition spatiale qui est le premier processus du wayfinding (modèle de (Passini, 1996) s'améliore avec l'expérience. Un individu qui acquiert de l'expérience dans un certain type d'environnement va pouvoir développer des stratégies de recherche qui peuvent être utilisées pour faciliter la planification du wayfinding dans des environnements similaires.

- La **stratégie de recherche** : il existe deux stratégies différentes pour coder les informations de l'environnement, le codage visuel qui se concentre sur les informations perceptives et les détails visuels de la scène et le codage verbal qui comprend les étiquettes et le guidage (ex : nom de rue, direction, etc.) afin de constituer un réseau de trajets ainsi que leurs interactions (Goldin & Thorndyke, 1982). Le codage verbal est souvent plus pauvre en termes de connaissance des propriétés visuelles de l'environnement mais plus détaillés et peut permettre la conception de croquis métrique précis. Ces différences vont influencer la façon dont les individus perçoivent l'environnement. Elles vont impacter les informations de leurs cartes cognitives et donc produire des différences de connaissances spatiales.

- Différence de **capacité en orientation spatiale** : les personnes ayant une bonne capacité d'orientation spatiale ont tendance à développer des cartes cognitives plus précises. Ces sujets bénéficient d'une grande efficience dans la boucle cognitive : perception des indices environnementaux, intégration, mémoire visuelle, réinscription des données dans une vision globale de l'espace. Cela peut leur conférer par exemple une qualité certaine pour lire des cartes.

- La **motivation** (Goldin & Thorndyke, 1982). En matière de cognition spatiale comme pour toutes les tâches cognitives, la motivation est un levier d'efficacité. En général, les personnes qui font de bonnes cartes cognitives ont un intérêt fort à acquérir ces connaissances spatiales, une bonne connaissance de leur stratégie de traitement de l'information, et étudient de façon aisée les cartes. Outre une forme de curiosité, les sujets bénéficiant de vives qualités de cognition spatiale se livrent plus volontiers à des expériences pour développer leurs compétences. Ceci n'est pas le cas de tout

un chacun, ce qui conduit à envisager de développer un outil où la faible motivation de certains n'est pas un frein. Le dispositif TICTact se veut justement très opérant pour les sujets à « faible motivation », soit pour des raisons d'efficience en cognition spatiale, soit du fait du caractère occasionnel de l'usage du dispositif.

- L'**anxiété spatiale** : ce qui nous intéresse sont les effets de diverses sources d'information sur le comportement de recherche de parcours. Plusieurs études (Daniel, 2012) montrent que l'une des difficultés inhérentes à la situation de navigation est la mise en correspondance qu'il faut réussir entre source d'information disponible et mémorisée et la réalité visible sur le terrain. L'expérience montre que lorsque l'adéquation entre ces deux éléments ne se produit pas, surgit « le sentiment d'être perdu », sentiment qui s'accompagne généralement d'une forte anxiété spatiale. Cette anxiété dépend beaucoup ensuite de chaque individu avec des différences interindividuelles fortes. La question à se poser est donc : comment faciliter chez le sujet non expert du déplacement (exemple : usager ponctuel, touriste) la construction de représentations spatiales adéquates et facilitatrices d'une bonne orientation sur le terrain ?

1.4.1.c) Le moyen de navigation

Pendant le déplacement, l'individu utilise ses sens pour se déplacer d'un point à un autre : déterminer la direction, la position, la vitesse ainsi que la distance jusqu'à destination. Dans la vie courante, nous utilisons de nombreux artefacts pour réussir à nous déplacer pour atteindre notre but, comme des panneaux que l'on trouve sur notre route, une carte, les conseils d'un ami, voire même une suite d'action (1ère à gauche, 2ème à droite, etc.). Ces stratégies de guidage peuvent revêtir diverses formes et nous pouvons utiliser divers canaux sensoriels pour nous laisser guider : la vision pour lire les panneaux, l'ouïe pour écouter les instructions, l'olfaction, le toucher. Sur un chemin non connu, pour répondre à la nécessité d'avoir une grande expérience et des compétences fortes, des instruments de navigation peuvent être utilisés. Ces outils vont permettre de compléter et d'améliorer les capacités de l'homme. Les aides à la navigation et au wayfinding vont permettre à l'individu d'atteindre sa destination avec un effort mental relatif. Il existe des formes multiples d'aides visant à transmettre à une personne des informations tout au long de son déplacement lui permettant de faciliter son activité dans un environnement connu ou inconnu. Nous reviendrons de façon plus détaillée sur l'utilisation d'artefact pour l'activité dans la section suivante, en s'appuyant sur le cadre théorique de l'activité instrumentée (Béguin & Rabardel, 2000).

1.4.1.d) L'environnement

Il est nécessaire de comprendre le wayfinding comme une interaction entre un utilisateur et son l'environnement dans lequel il se déplace. Les recherches en navigation humaine et celles concernant les transports en commun sont bien souvent séparées et il n'existe encore que peu de travaux recoupant ces deux problématiques (Rüetschi & Timpf, 2005). Fontaine & Denis, (1999) font exception en s'intéressant aux descriptions d'itinéraires dans les stations de métro et au lien nécessaire entre l'environnement souterrain et extérieur en ville. L'activité de déplacement piéton urbain est une activité se déroulant dans une grande variété d'environnement, situations et contraintes. Les activités cognitives impliquées vont être de nature diverses demandant une attention cognitive plus ou moins forte. L'usager peut au cours de son déplacement réaliser une tâche annexe, comme lire, discuter avec des amis, etc. Très peu d'études se sont intéressées au déplacement dans sa globalité et à cette notion de continuité de l'information en fonction du contexte. Les études existantes se focalisent généralement sur une situation précise (exemple : déplacement en extérieur et en intérieur). Les comportements de recherche d'itinéraire pendant la navigation des piétons sont largement influencés par les indices environnementaux (Darken & Sibert, 1996) et un piéton navigue dans un environnement qui est dynamique, composé en cela de contraintes et d'opportunités, (Helbing, 2001).

Les zones de déplacement

Les individus utilisent différents moyens de transports et ces moyens peuvent être combinés lors d'un trajet. Par exemple, une personne voulant se rendre à une destination en transport en commun va d'abord se rendre à pied jusqu'à son arrêt de métro, voyager en métro et enfin finir son trajet jusqu'au point d'arrivée à pied ou en vélo. Le déplacement urbain prend en compte quatre grands types de déplacement différents se distinguant par leurs environnements, ou ce que Uzan ,

et al., (2011) appellent les zones du déplacement. Ces zones de déplacement sont articulées autour du traitement de l'information effectuée par le piéton-voyageur. Ce découpage en zone ne correspond pas tout à fait à celui de l'organisation fonctionnelle du réseau de transport, mais reste cependant cohérent avec celui-ci.

- La zone de surface : c'est une zone qui est polymorphe car elle a une grande diversité de configuration, elle est pluri-active car elle comporte des activités dont le transport n'est que l'une possible parmi de nombreuses autres (commerces, espaces culturels, habitations, etc.). Elle est multifonctionnelle car les piétons qui s'y retrouvent ne sont pas forcément des personnes qui vont prendre les transports ou qui en reviennent.

- La zone d'accès : zone dans laquelle l'activité principale des personnes est d'aller de la zone de surface à la zone de transfert (décrite ci-après) ou en sens inverse. Cette zone peut être ou non propre au transport et dédiée bien souvent par la conception à cette fonction. Elle peut être parcourue par des flux importants de personnes ou de foules qui vont à une allure plus ou moins vive (exemple : voyageur expert en heure de pointe). L'attente d'un véhicule n'est pas ici une « immobilité » mais constitue dans le trajet piétonnier une «période d'entrave» qui peut selon sa durée être occupée par d'autres activités ainsi enchâssées. L'attente n'est donc pas vraiment une période d'inactivité.

- La zone de transfert : elle comporte à la fois le quai de métro et le bord du trottoir déterminant le point d'arrêt du bus ou du tramway ainsi que les espaces intérieurs des véhicules qui sont face aux portes, qu'elles soient dédiées à l'entrée, la sortie ou les deux. Elle supporte un double transfert : l'accostage et le départ du véhicule ainsi que le transfert de voyageurs de la zone vers le véhicule et inversement. C'est une zone de pression temporelle ou la priorité est partagée entre sécurité et réassurance sur l'orientation (vérification que l'on monte bien dans le bon véhicule).

- La zone de « transportation » : c'est à l'intérieur du véhicule. Dans cette zone le voyageur est dégagé des tâches propres au déplacement physique. Sur le plan cognitif, il est dans une situation analogue à celle de l'attente d'un véhicule à un point d'arrêt car il attend l'arrivée à son point de descente.

L'activité de déplacement dans le réseau de transport en commun

Pour Rüetschi & Timpf, (2005) le réseau de transport en commun est constitué de lignes qui ont des séquences d'arrêts fixes et des horaires de départ prédéfinies. Ce service est accessible au public et est soumis à certaines règles : (1) le réseau, (2) les lignes, (3) les arrêts et (4) les horaires. Cela va influencer la façon dont le voyageur va agir avec le système. Ainsi un voyage en transport en commun se compose de plusieurs éléments (voir Figure 4).

Rüetschi & Timpf, (2005) séparent les informations liées aux transports publics selon deux environnements distincts, d'une part les informations du réseau (le réseau en lui-même, les horaires), qui sont des informations qui peuvent être données par différentes interfaces (ex. smartphone, carte, site de planification). D'autre part les informations de la scène (la signalétique, l'architecture de la station), qui sont des informations obtenues lors du déplacement en contact direct avec l'environnement.

En raison des arrêts obligatoires, les utilisateurs doivent ensuite utiliser un autre mode de transport (comme la marche à pied ou le vélo) pour accéder, sortir du réseau et se rendre au point de destination. En raison des liens entre les différentes lignes, les transferts sont souvent inévitables pour la plupart des voyages. En raison des horaires fixés, les passagers doivent planifier à l'avance, chercher les services judicieux et les bonnes liaisons afin d'optimiser au mieux leur voyage selon des critères de temps, de coût de déplacement, de complexité de l'itinéraire (Heye & Timpf, 2003) et d'autres critères tels que les préférences individuelles.

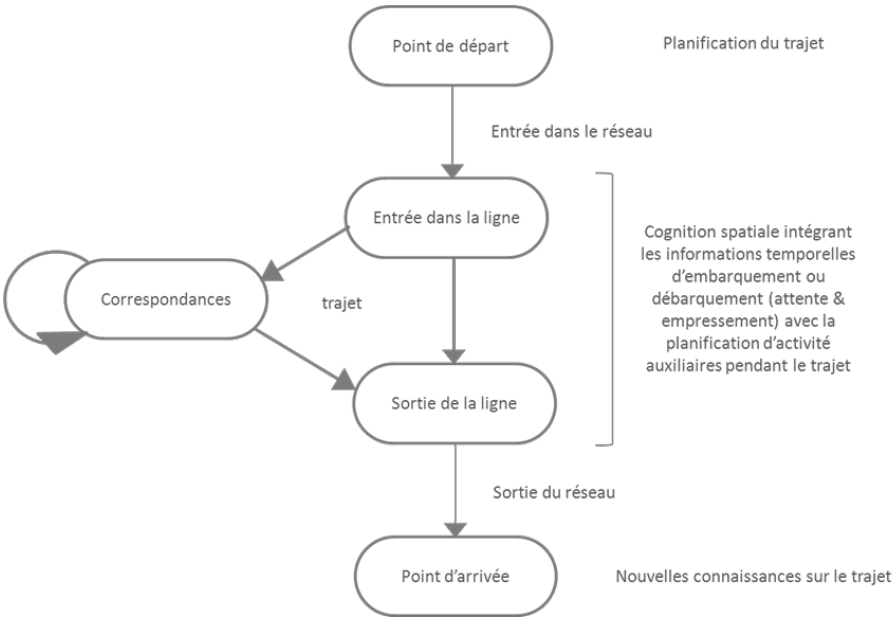


Figure 4. Les différentes étapes d'un trajet piéton urbain en transport en commun Rüetschi & Timpf (2005).

1.4.2. Une activité instrumentée et médiatisée

L'activité de déplacement piéton urbain, s'effectuant au travers de l'utilisation de différents artefacts, nécessite la compréhension du rôle et de l'impact de ces instruments sur cette activité puisque « *l'introduction d'un artefact, dans une situation donnée, permet – au mieux – de résoudre d'anciens problèmes, mais change la nature de la tâche, crée de nouveaux problèmes, pour lesquels de nouveaux instruments sont nécessaires, etc.* » (Béguin & Rabardel, 2000).

Pour comprendre cette activité médiatisée et instrumentée, nous articulerons l'approche instrumentale (Rabardel, 1995) et l'activité distribuée (Hutchins, 1995) qui visent conjointement la compréhension et l'étude de l'activité instrumentée en situation. Les approches de l'activité médiatisée privilégient l'activité située et s'attachent à identifier les invariants d'activité que développent les sujets dans les classes de situations et les domaines de leurs activités, le rôle des artefacts pour l'action, le développement des ressources pour l'activité et pour les sujets eux-mêmes. Du point de vue de l'activité médiatisée, le système à prendre en compte est un être humain, donc équipé d'une multiplicité d'organes fonctionnels, et dont le développement s'inscrit à la fois dans un contexte culturel et dans une histoire personnelle d'interactions avec le monde. Un nouvel artefact ne devient pas nécessairement un organe fonctionnel. C'est une potentialité qui suppose la construction d'une articulation avec l'activité du sujet.

1.4.2.a) Activité distribuée

Dans cette étude, l'activité est distribuée entre un individu et les conditions environnementales et matérielles. En conséquence, les ressources propres du sujet et les modalités d'aides offertes par la machine constituent la capacité cognitive d'un système homme/machine intelligent (Licoppe & Levallois-Barth, 2009). L'information, et plus particulièrement son format d'affichage, s'avère capitale et ce d'autant plus que c'est la disponibilité des informations qui serait au déclenchement de l'action et favorise, dans certaines circonstances, une diminution de la charge mentale des individus (Hutchins, 1995). Les outils cognitifs, en transformant la tâche du sujet afin d'en donner une formulation ou une représentation plus facile à traiter par celui-ci, constituent alors de bonnes aides opérationnelles. Nous rejoignons les critiques formulées par (Nardi, 1996) sur le fait que, si la cognition distribuée étudie bien l'importance du contexte dans l'utilisation des artefacts, la perception de ses propriétés comme structure permanente et stabilité cognitive au travers de différentes situations peut poser des problèmes. L'utilisation d'un artefact est-elle la même en toute circonstance ? L'information qu'il renvoie a-t-elle la même importance selon la situation d'usage? Le caractère organisationnel des artefacts dans l'activité demande donc un approfondissement du

caractère situé des pratiques afin de pouvoir étudier l'évolution du système fonctionnel (Nguyen, 2013).

1.4.2.b) Activité instrumentée

L'instrument ne peut se réduire à l'artefact ou l'objet technique. Cette idée a notamment été développée dans le champ des interactions humain-machine (Kaptelinin & Kuutti, 1999) en considérant que du point de vue de l'activité médiatisée, le système à prendre en compte est constitué par un humain toujours équipé d'une multiplicité d'organes fonctionnels dont le développement s'inscrit à la fois dans un contexte culturel et dans une histoire personnelle d'interaction avec le monde. Un nouvel artefact ne devient pas nécessairement un organe fonctionnel. C'est une potentialité qui suppose la construction d'une articulation avec l'activité du sujet (Folcher & Rabardel, 2004). L'idée de l'instrument comme unité mixte est donc largement partagée. L'instrument médiateur (Rabardel, 1995) est donc constitué :

- d'une part d'un artefact, matériel ou symbolique, produit par le sujet ou par d'autres

- d'autre part, de schèmes d'utilisation associés, résultant d'une construction propre du sujet, autonome, ou d'une appropriation de schèmes sociaux d'utilisation déjà formés extérieurement à lui.

Les processus d'instrumentation sont relatifs à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation : leur constitution, leur fonctionnement, leur évolution, et l'incorporation d'artefacts nouveaux à des schèmes déjà constitués. Nous avons choisi le concept de schème parce qu'il permet de rendre compte des processus d'adaptation de l'activité à la diversité du milieu extérieur et de leur généralisation en fonction des contenus auxquels ils s'appliquent. Les schèmes d'utilisation peuvent avoir deux statuts selon leur orientation (Folcher & Rabardel, 2004) :

- vers la gestion des caractéristiques et de propriétés particulières de l'artefact : il s'agit des schèmes d'usage (exemple : utilisation de commande, circuler dans un menu) permettant de gérer les interactions avec l'interface. Les schèmes d'usage correspondent au niveau d'analyse des approches centrées sur l'interaction homme-machine

- vers l'objet de l'activité : il s'agit des schèmes d'action instrumentée. Ces schèmes incorporent les schèmes d'usage pour lesquels il y a recomposition de l'activité dirigée vers le but principal du sujet du fait de l'insertion de l'instrument.

Le caractère de schème d'usage ou de schème d'action instrumenté ne réfère donc pas à une propriété du schème en lui-même, mais à son statut dans l'activité finalisée du sujet. Les schèmes d'utilisation ont à la fois des modalités d'existence privées (propres à chaque individu) et sociales. La dimension sociale tient à ce que les schèmes s'élaborent au cours d'un processus où le sujet n'est pas isolé. Les autres utilisateurs, mais aussi les concepteurs des artefacts, contribuent à l'émergence de schèmes. Les instruments sont mobilisés au fil de l'action, en fonction des buts et des besoins opérationnels du moment (Folcher & Rabardel, 2004). C'est la logique de cette activité située concrète et singulière qui, dans ce cas, a organisé les relations de complémentarité fonctionnelle entre les instruments et les séquences temporelles de leurs usages successifs ou concomitants.

Les systèmes d'instruments comprennent plusieurs niveaux d'organisation : classes de situations, familles et domaines d'activité (Rabardel & Bourmaud, 2003) et organisent des artefacts de types différents : matériel, sémiotiques, symboliques et plus largement des ressources hétérogènes dans leur nature (Vidal-Gomel, 2002). Les instruments peuvent être organisés par le sujet en fonction des classes de situations et domaines d'activité qu'il rencontre régulièrement dans son activité mais également en fonction de l'expérience et des compétences. Bien souvent, l'utilisateur introduit une certaine redondance avec ses outils permettant ainsi une plus grande souplesse d'utilisation ainsi qu'une plus grande variété de solutions adaptées aux particularités des situations. L'outillage, ainsi restructuré et organisé, forme un ensemble homogène où se réalise, pour l'utilisateur, un meilleur équilibre entre les objectifs d'économie et d'efficacité de l'action. Les fonctions et outils nouveaux, issus des genèses instrumentales, ne font pas l'objet d'un développement isolé. Ils s'intègrent au reste de l'outillage de l'utilisateur, assurant ainsi un meilleur équilibre d'ensemble de son outillage dans sa globalité.

2. Les aides au déplacement

Il existe diverses façons d'assister l'activité de déplacement : parmi les outils d'aide les plus classiquement utilisés figurent en bonne place les cartes et les descriptions verbales.

Pour réaliser l'activité de déplacement de façon efficace, l'utilisateur doit pouvoir disposer d'informations suffisamment précises, complètes et mises à jour. Il doit être capable d'avoir accès à ces informations de façon appropriée en fonction de la situation dans laquelle il se trouve. Il est important que l'information soit suffisante mais non envahissante. Des informations trop complètes peuvent empêcher de se concentrer sur ce qui est utile en nous distrayant avec des informations inutiles et superflues. Par ailleurs, la forme et la modalité de l'information sont également importantes pour le succès du wayfinding. L'information dans le déplacement doit s'adapter à la variabilité des situations et des comportements (Heuten, 2008).

2.1. Aides au déplacement et phases du wayfinding

2.2. Les aides non technologiques

Chen & Stanney, (1999) ont élaboré une classification d'outils basée sur les trois phases du wayfinding (traitement de l'information, prise de décision, exécution du plan d'action). Il est intéressant de comprendre comment chaque phase peut-être outillée et comprendre l'impact que cela va avoir sur l'activité de déplacement mais également sur la représentation mentale spatiale.

Lors de la première phase du processus : traitement de l'information, les outils d'aide peuvent assister l'individu de différentes façons : les outils donnant la position, l'orientation ainsi que des informations sur l'environnement peuvent aider les personnes dans la détermination de l'orientation spatiale (position et orientation). Ils peuvent également fournir les informations de position actuelle ainsi que l'orientation dans un cadre égocentrique (par exemple « en face de la pharmacie «) ou allocentrique (par exemple au « Nord-Ouest ». Les informations sur l'environnement peuvent permettre de localiser des monuments et avoir des informations à leur propos (par exemple « l'église en briques rouges en face du stade »), ce qui est utile pour construire une carte cognitive (repères).

Lors de la seconde phase du processus, la prise de décision et l'élaboration de plans d'action, les outils donnant des informations sur l'environnement peuvent permettre de remplacer ou de compléter une carte cognitive personnelle et apporter des précisions dans le but de sélectionner l'itinéraire approprié ou encore élaborer un plan d'action visant à se déplacer sur un itinéraire. Par exemple, l'utilisation d'une carte va permettre d'obtenir non seulement les points de repères et une vue en mode « survol» mais également les différents itinéraires possibles. Dans ce cas-là, les individus ont juste à sélectionner un itinéraire préféré parmi plusieurs possibilités sans que cela implique l'effort mental de la création d'une carte cognitive.

Bien que ces outils permettent de simplifier le processus de wayfinding, ils peuvent également limiter le nombre de connaissances spatiales acquises à partir de l'environnement, en fournissant à l'utilisateur des informations ne faisant pas appelle à une représentation mentale de l'espace pour agir, c'est le cas par exemple lorsqu'on suit une autre personne sur un trajet ou bien encore lorsqu'on est guidé par les instructions de guidages d'un GPS. L'utilisation de ces outils peut être particulièrement avantageuse pour les personnes qui n'arrivent pas à construire de cartes cognitives précises de l'espace.

En général le wayfinding n'est pas réalisé dans le but spécifique d'acquérir des connaissances spatiales. Les systèmes d'aide à la navigation peuvent assister de façon efficace les différentes tâches de wayfinding car cela va éliminer les deux premières étapes du processus de wayfinding (traitement de l'information et prise de décision). Cependant les individus peuvent également souhaiter, en plus de réaliser des tâches de wayfinding, se familiariser avec l'environnement et le trajet. Pour cela, ils peuvent utiliser des outils donnant la position, l'orientation ainsi que des

informations sur l'environnement. Ces trois types d'outils semblent être la meilleure façon d'assister la personne dans son apprentissage et sa mémorisation de l'environnement ainsi qu'à l'exécution des différentes tâches.

2.2.1. Descriptions d'itinéraire

La description d'itinéraire présente les étapes nécessaires pour aller d'un point de départ jusqu'à un point d'arrivée ainsi que les actions à effectuer aux points décisionnels d'orientation. Pour cela, elle repose sur l'adéquation entre deux éléments essentiels : la mention des repères pertinents et la prescription des actions à entreprendre (Denis,1997).Les descriptions d'itinéraires verbales ou écrites se caractérisent par la linéarité du discours (les informations y sont données de façon séquentielle, au fil des mots du discours, la perspective adoptée est le plus souvent égocentrée (selon la perspective du piéton) La description d'itinéraire expose les étapes successives nécessaires pour aller d'un point de départ jusqu'à un point d'arrivée et mentionne les actions à effectuer aux points décisionnels d'orientation. Elle est quasi-indispensable pour se déplacer dans un environnement peu ou pas connu et peut venir d'une tierce personne, d'un service de guidage, etc.

L'efficacité de la navigation (mesurée par le nombre d'erreurs de direction, d'hésitation, de demandes d'aide, d'arrêts, ainsi que le relevé du temps total et par segment) va dépendre en partie de la qualité de la description. Pour une description efficace, il est nécessaire d'obtenir une adéquation satisfaisante entre repères et actions (Denis, Pazzaglia, Cornoldi, & Bertolo, 1999).

Le guidage verbal a été identifié comme le meilleur moyen pour guider la navigation des Non Voyants pour différentes raisons. Il permet, d'après Gaunet & Briffault, (2005) de décrire de la façon la plus adaptée un itinéraire inconnu. Il permet de décrire des environnements complexes beaucoup mieux que par le sens du toucher utilisé avec les cartes tactiles (Richard, Bonnet, & Ghiglione, 1990). En effet, certains lieux demandant une multitude d'informations (comme une gare ferroviaire), l'exploration d'une carte tactile nécessitera un effort cognitif important pour assimiler et retenir simultanément ces informations. Le fait de donner les informations de façon auditive permet de délivrer l'usager non-voyant au fur et à mesure de l'activité de déplacement et ne demande pas d'effort de mémoire, ce qui diminue la charge cognitive. Au niveau de la capacité de représentation mentale de l'espace, Denis, (1997) a confirmé la possibilité de générer à partir d'un traitement d'informations verbales des représentations mentales pouvant être utilisées pour l'exécution d'actions. Enfin, il a été confirmé que les déficients visuels ont une meilleure mémoire auditive que les voyants lors d'encodage sémantique ou physique (Röder, Rösler, & Spence, 2004). Il faut seulement souligner que des descriptions minimalistes (« prendre rue X », « prendre bd Y sur la droite ») sont mieux mémorisées par les individus que les descriptions plus complètes (« prendre rue X jusqu'au 2ème feu et tourner à droite au niveau de la pharmacie dans le bd Y »…), (Denis, Michon, Tom, 2007).

2.2.1.a) Les repères

Les repères sont le plus souvent visuels pour les personnes voyantes. Il semble toutefois cohérent de considérer comme repères potentiels des éléments de l'environnement non visuels, tels que des odeurs caractéristiques (odeur de restaurant ou de boulangerie par exemple), un élément caractéristique du sol (dalle cassée) voire un courant d'air lié à l'architecture. Un repère peut être défini comme un élément saillant de l'environnement utilisé de façon régulière pendant la navigation (Caduff & Timpf, 2008). Selon (Golledge, 1999) un repère constitue une aide à la navigation lorsqu'il permet à la personne de s'orienter, de vérifier qu'il est ou non sur le bon chemin et de prendre les décisions qui en découlent. Les repères utilisés en mode « route » peuvent aussi contribuer à la construction de cartes mentales s'ils en sont des éléments constitutifs.

Les repères sont des éléments important pour le déplacement. Ce sont des éléments saillants de l'environnement utilisés pour la navigation et dont la modalité sensoriel est essentiellement visuel. Les points de repères sont des aides à la navigation. Ils permettent de s'orienter (direction, point de changement), de vérifier qu'on est sur le bon chemin et de prendre les décisions qui en découlent (Klatzky, Loomis,, Beall, Chance, & Golledge, 1998 ; May, Ross, Bayer, & Tarkiainen, 2003 ; Hile, Grzeszczuk, Liu, Vedantham, Kosecka, & Borriello, 2009). Les points de repères permettent aussi de

diminuer le temps de navigation, les risques d'être perdu, ainsi que la charge de travail mental de l'individu, (Goodman, Gray, Khammampad, & Brewster, 2004).

Lors d'une tâche de navigation, les gens structurent l'espace grâce à des points de repère (Radoczky, 2007). Lorsque l'on demande sa route, on utilise naturellement des objets significatifs de l'espace pour s'assurer que notre description est bien comprise. L'importance des points de repères en navigation a été discutée dans de nombreuses publications (Michon & Denis, 2001; Lynch, 1960; Goledge, 1999). Cependant la grande diversité des points de repère les rend difficile à inclure dans les systèmes de navigation. De plus, l'utilisation de points de repères est un processus subjectif souvent utilisé dans les mails ou les SMS, c'est à dire dans les communications informelles pour guider une autre personne, ou bien encore retrouver quelqu'un dans un environnement peu ou pas connu (Zipf & Jöst, 2006 ; Radoczky, 2007).

Généralement, les piétons veulent être informés des points de repère qui sont les indices principaux de la navigation (May, Ross, Bayer, & Tarkiainen, 2003) et la façon principale de donner des informations de direction et de navigation (Hile, Grzeszczuk, Liu, Vedantham, Kosecka, & Borriello, 2009). Les points de repères les plus importants sont généralement bien visibles et familiers tels que : les immeubles, les pubs, les banques, les magasins, restaurants, supermarchés, station essence, lampadaire, croisements et parcs (May, Ross, Bayer, & Tarkiainen, 2003). Les points de repère peuvent être utilisés pour identifier des directions, des points de changement de direction, confirmer sa route (Hile, et al., 2009). Les piétons veulent aussi être informés sur le type de route, les distances et le nom des rues. Dans un environnement où le paysage est facilement identifiable, c'est à dire un environnement comprenant des points de repères caractéristiques, prégnants et de ce fait facilitant la construction d'une représentation mentale (Heft, 1983) les individus utilisent ces points de repères plutôt que l'orientation géographique. Si les individus sont dans un environnement indifférencié ils vont plus utiliser l'orientation géographique.

2.2.1.b) Les actions

Les actions sont les éléments essentiels à la progression vers le but, par exemple : avancer, tourner, etc. (Daniel, 2012). Elles sont d'autant plus efficaces qu'elles sont liées à un repère précis. Plusieurs types d'actions sont possibles :

- les changements d'orientation (exemple, après la banque, tourner à droite)
- les actions de positionnement (exemple : se placer dos à la Poste)
- les instructions correctrices (exemple : si tu passes sur le pont, c'est que tu t'es trompé)
- les actions de progression. (exemple : continue toujours tout droit, tout droit tout droit)

2.2.1. Cartes

Selon Giraudo & Pailhous, (1994) des processus cognitifs différents sont engagés dans l'apprentissage d'un espace par la navigation quotidienne ou par une carte, même à très long terme. Ceci suggère une séparation entre tous les mécanismes mis à contribution par la navigation et la lecture de cartes. La lecture d'une carte en deux dimensions a en effet certaines spécificités qui peuvent rendre compte de son indépendance par rapport à l'espace de navigation : son étude se rapproche de celle de la perception ou de la mémorisation des images planes. Cependant, une carte nous apporte aussi des informations sur l'environnement de navigation 3D : la carte est un outil d'acquisition de connaissances spatiales de l'environnement qu'elle représente et non seulement d'elle-même (Fontaine, 2000).

La carte est un instrument qui permet de s'orienter dans l'espace. Les représentations cartographiques ont pour but de présenter les éléments d'un environnement de manière statique et globale. Statique car la composante dynamique de la navigation est absente ou au mieux représentée par des flèches (Tversky, 2003), globale car les personnes sont placées directement devant l'ensemble de l'information nécessaire à la navigation. Il existe des cartes dites « imprimées » de régions ou de bâtiments, des cartes topographiques et des cartes dites « schématiques » qu'un ami dessine pour vous indiquer un chemin (Kovach, Surette, & Aamodt, 1988). Toutefois les représentations cartographiques demeurent des « schématisations » parce qu'elles offrent des informations supposées pertinentes au détriment des autres (Tversky, 2003).

L'abstraction cartographique est le fait de représenter sur une carte les éléments qui existent dans la réalité. Ce processus demande différentes étapes : une sélection des lieux, une classification des informations, une simplification des informations et une symbolisation des lieux. L'information est fortement codée et parfois fastidieuse à déchiffrer (par exemple, sur les cartes les points représentent des villes etc.) (Tkacz, 1998).

Les moyens graphiques proposent la plupart du temps une perspective allocentrée, en survol, comme les outils de type carte, plans, schémas, les vues d'ensemble de l'environnement. La signalétique (flèches, panneaux, etc.) suppose aussi le recours à la modalité visuelle. Les représentations graphiques sont des représentations analogiques, qui reflètent le plus fidèlement possible la forme spatiale du trajet sur le terrain.

2.2.2. Signalétique

Dans certains cas, le wayfinding assisté est plutôt simple (ex. suivre un sentier marqué avec des signes, telle qu'une flèche, à certaine distance dans un terminal d'aéroport). Le suivi de signes ne demande pas un effort cognitif considérable : après avoir détecté le signe, l'individu a besoin d'identifier des informations pertinentes sur le signe, faire correspondre avec la localisation de la cible et exécuter l'action déclarée par le signe (Raubal, 2001). Lors du suivi de signe, la planification du trajet a déjà été réalisée et aussi longtemps que les signes sont mis en place de manière fiable à chaque point de décision, l'individu n'a que très peu d'efforts de raisonnement spatial à faire. A l'extrême, le suivi de signes peut être réduit à une tâche de locomotion.

2.3. Les aides technologiques

L'homme utilise probablement depuis plusieurs millénaires des cartes et des descriptions d'itinéraires pour naviguer dans des espaces inconnus. Actuellement ces cartes et descriptions d'itinéraires sont mises à disposition des individus sous une forme numérique et ces formes sont devenues très populaires pour la navigation, notamment avec l'avènement des Smartphones et leurs applications (Google Maps, Mappy, etc.) qui offrent de nouveaux supports d'assistance à la navigation. Plusieurs travaux ont analysé les limites des systèmes d'aide à la navigation des sujets voyants, ainsi que les moyens de les améliorer. Plusieurs systèmes d'aide présentent une assistance pas à pas sur le trajet (Chalmé, Visser, & Denis, 2000). Cela n'aide pas l'utilisateur à planifier son itinéraire. Les sites d'aide à la planification d'itinéraires actuels sur internet pallient en partie ce problème en proposant de nombreux critères d'optimisation et de guidage, et de nombreuses sources d'informations (informations cartographiques et touristiques, sur le trafic, sur les autres moyens de transport disponibles, etc.). Cela permet donc à l'utilisateur de construire son itinéraire avant le départ. Le niveau préalable de connaissance du trajet par l'utilisateur ainsi que son niveau d'habileté spatiale doivent être pris en compte (Roger, Bonnardel, & Le Bigot, 2011). Le contenu du système d'aide devrait donc être adapté en fonction du niveau de connaissance préalable du trajet ainsi que du niveau d'habileté spatiale de l'utilisateur. Plus globalement, les systèmes d'aide actuels ne prennent pas en compte la variabilité interindividuelle et la variabilité du niveau de contraintes pesant sur la planification (ex : la pression temporelle) (Chalmé, Visser, & Denis, 2000). Enfin, une caractéristique importante limite l'ensemble des dispositifs d'aide à la navigation anciens ou actuels pour voyants : ils font exclusivement appel au sens de la vue et à l'attention visuelle. Cette caractéristique pose un problème puisque l'attention visuelle est nécessaire dans l'activité de navigation pour s'orienter, repérer les caractéristiques de l'environnement ou encore surveiller la circulation. L'attention visuelle n'est pas disponible car elle est utilisée pour appréhender l'environnement. Ainsi, des dispositifs d'aide non basés sur la vision pourraient être intéressants pour l'aide au déplacement.

2.3.1. Evolution des usages avec la généralisation du smartphone

En juin 2013, on dénombre désormais plus de 24,1 millions de possesseurs de Smartphones, soit 44,4% de la population française de 11 ans et plus, selon le baromètre trimestriel réalisé par la Mobile Marketing Association France, en partenariat avec comScore, GFK et Médiamétrie. Le taux de Français équipés de Smartphones ne cesse de grimper. Le secteur ne connaît pas la crise : chaque jour plusieurs centaines d'applications fleurissent sur les plateformes de téléchargement, particulièrement dans le domaine du divertissement et de la mobilité. De quoi faire tourner la tête

des utilisateurs qui n'ont aujourd'hui pour seul choix que de trouver les applications qui correspondent à leurs besoins de déplacements.

Depuis quelques années, l'assistance à la navigation mobile est en plein essor, notamment avec l'apparition des smartphones intégrant un GPS et la création de nombreuses applications mobiles d'assistance au déplacement piéton urbain, cela impliquant une évolution des usages et des comportements en mobilité. Il est désormais obsolète de considérer que la réalisation d'un trajet comprend une phase de préparation (le plus souvent chez soi), une phase d'exécution et une phase de « bilan » (chez soi) (Patesson & Lecomte, 1999). En effet, l'accès à des applications disponibles sur dispositif mobile permet aujourd'hui à l'usager de planifier et/ou replanifier son parcours en cours de mobilité et d'interroger les systèmes d'informations mis à disposition par le réseau à toutes les étapes de son déplacement. Le parcours peut être replanifié par rapport à des objectifs fluctuants, qui peuvent dépendre du contexte. L'usager peut vouloir par exemple, profiter d'une journée ensoleillée pour réaliser une partie agréable du trajet à pied et non plus en transport en commun, ou au contraire s'engouffrer dans la première bouche de métro pour échapper à une pluie soudaine. La mise à disposition de ces informations nomades peut modifier considérablement les stratégies de prise d'information et d'usage de ces informations. Ces différents constats mettent en lumière la quantité importante d'informations déclinées sur de nombreux médias. Par exemple une personne qui se déplace en métro va prendre de l'information grâce aux panneaux se trouvant dans la station afin de choisir le couloir la menant jusqu'à la ligne désirée, mais elle peut aussi profiter d'un moment d'attente (ex. dans le métro) pour regarder l'horaire en temps réel de sa prochaine correspondance en bus grâce à l'application RATP sur son smartphone.

2.3.2. Multiplication des applications pour la mobilité urbaine

De nombreuses applications de gestion du trafic utilisent les données issues des systèmes de navigation GPS des Smartphones à la fois pour obtenir des données objectives en temps réel, mais également pour des informations subjectives ou des commentaires. Le partage d'informations entre les utilisateurs (applications collaboratives « crowdsourcing ») pour le déplacement se rencontre dans deux types de situations, soit pour compléter les données existantes, soit pour contourner la difficulté d'accéder aux données existantes. Ce type d'application commence à se développer pour le réseau francilien, avec CheckMyMetro ou MetroEclaireur qui proposent aux usagers de transports collectifs une plateforme d'échange d'informations communautaires sur le trafic, les incidents localisés mais aussi sur les micro-évènements et les actions insolites qui peuvent survenir au cours d'un déplacement : les musiciens, des publicités ou des graffitis intéressants.

Les systèmes d'informations actuels sont donc des segments complémentaires isolés. Ils doivent être améliorés pour répondre au défi d'une chaine d'information continue et efficiente au cours du déplacement de personnes. Cette limitation est également souvent due pour une grande partie à la limitation de la technologie des systèmes d'information actuels qui ne sont pas autonomes en situation de mobilité. En effet, ils sont bien souvent limités par les contraintes propres de leur environnement. Par exemple, dans une station de métro, le réseau n'est pas accessible et le GPS ne fonctionne plus, d'autant qu'il n'existe pas de modélisation de l'espace souterrain. Certains dispositifs fonctionnent en intérieur avec des équipements spécifiques en utilisant des technologies comme le wifi ou la fréquence radio mais ne vont pas fonctionner en extérieur (Baudoin, Venard, Uzan, Paumier, & Cesbron, 2005). Ces ruptures nuisent au bien-être des utilisateurs et ne répondent pas à la demande, même simple, de changement de parcours ou de point d'intérêt à rejoindre, puisqu'il faut passer par des systèmes d'informations différents et non reliés entre eux, si tant est qu'ils soient présents et accessibles à tout public. Les applications actuelles sont pour la plupart destinées à un type d'environnement : il existe les applications de déplacement en extérieur (exemple : Google Maps), en intérieur (applications pour les transports en commun). Des applications nouvelles sur la mobilité se développent sans cesse, notamment pour le tourisme.

Tout ceci pousse à s'interroger sur l'utilisation du smartphone et ce que cela peut impliquer comme modification pour l'activité. Peu d'études se sont intéressées à l'impact du smartphone sur l'activité car il est difficile de pouvoir l'étudier de façon précise tant le nombre et la diversité d'applications sur le marché évoluent rapidement. Ces différentes applications vont alors modifier les usages et peuvent ainsi modifier l'activité des utilisateurs.

2.4. Effet du format de l'aide sur l'activité de déplacement

Il existe un effet du format et du contenu de la source d'information sur le comportement de wayfinding. Des études (Taylor & Tversky, 1992 ; Avraamides, Loomis, Klatzky, & Golledge, 2004) ont examiné la question de l'équivalence fonctionnelle entre plusieurs sources d'acquisition d'informations spatiales : description verbale, carte, etc. sur la représentation spatiale construite puis mémorisée mais également sur la performance de déplacement. L'équivalence s'explique par un double codage auquel recourt la personne (Meilinger, Knauff, & Bülthoff ; Meneghetti, Fiore, Borella, & De Beni, 2011). Les personnes qui prennent connaissance d'une description verbale d'itinéraire peuvent transformer mentalement l'information en carte, de même que ceux à qui on fournit une carte peuvent transformer l'information en une liste d'instructions procédurales à suivre.

2.4.1. Equivalence fonctionnelle des sources d'information

Il existe un effet du format et du contenu de la source d'information sur le comportement de wayfinding.

Des études (Taylor et Tversky, 1992 ; Avraamides, et al. 2004) se sont également penchées sur la question de l'équivalence fonctionnelle entre plusieurs sources d'acquisition d'informations spatiales : description verbale, carte, etc. sur la représentation spatiale construite puis mémorisée mais également sur la performance de déplacement. L'équivalence s'explique par un double codage auquel recourt la personne.

2.5. Critères d'évaluation des outils d'aide au déplacement

De nombreuses études ont été conduites afin d'étudier la performance des utilisateurs lors du déplacement. Les mesures de performance peuvent être classées en deux types, selon le moment où les mesures sont effectuées et les données collectées. Le premier type est une mesure de la performance en elle-même et le second type comprend les mesures de la connaissance spatiale après la navigation. La plupart de ces tests sont issus des recherches en psychologie cognitive et sont plus centrées sur la connaissance spatiale. D'autres sont issues de recherches en ergonomie et permettent de rendre compte du déplacement comme une activité se déroulant dans un environnement spécifique (qui peut varier au cours du trajet) avec des ressources et contraintes internes à l'individu et inhérente à l'environnement, au contexte et aux outils utilisées. Dans les sections suivantes, nous exposerons les différents tests permettant de mesurer la performance de navigation.

2.5.1. Test de navigation

Les tests de navigation font partie du premier type de mesure et comprennent des tâches telles que la recherche d'un certain endroit, la réalisation d'un itinéraire en sens inverse, ou encore la recherche de route la plus courte entre deux endroits (Passini, Proulx, & Rainville, 1990). Ces différentes tâches ont été mesurées de façons différentes, les deux types de mesures les plus populaires sont celles mesurant l'erreur et la vitesse ou le temps. L'erreur prend généralement en compte la prise d'une mauvaise direction à un point de réorientation ainsi que le déplacement sur une mauvaise route. Les mesures de temps doivent contenir le temps passé à planifier son trajet puis à l'exécuter (O'Neil, 1991).

2.5.2. Mesures physiologiques

Il s'agit de mesures d'indicateurs physiologiques tels que la fréquence cardiaque qui grâce à une interface cardio-fréquencemètre dotée d'un GPS permet de relever conjointement la distance parcourue, le trajet effectué et les fréquences cardiaques des participants.

La fréquence cardiaque est pour (Nelson, Couix, Wolff, Cabon, & Uzan, 2006) utilisée comme indicateur possible du stress du participant lors d'un déplacement en environnement urbain. En effet, en situation de stress, les glandes surrénales secrètent de l'adrénaline, le rythme cardiaque

s'accélère, la pression sanguine augmente, la respiration est plus rapide. Le stress se caractérise par une mobilisation physiologique mesurable par la fréquence cardiaque, ce qui peut donc être considéré comme un reflet du niveau d'anxiété.

Pour être plus exploitables, ces données physiologiques objectives ont souvent besoin d'être complétées par des questionnaires subjectifs permettant de mieux connaitre les traits de personnalité des participants (à l'aide d'échelle de personnalité notamment), et leur niveau d'anxiété (anxiété de fond, et anxiété de contexte).

2.5.3. Tests post-déplacement

Ces tests évaluent la rétention par la mémoire à court et long terme de nombreuses formes d'information, tels que la description des lieux ou des itinéraires après un voyage et la capacité à identifier le nombre ou la séquence d'objets sur la route (ex. point de repère) qui ont été encodés en mémoire (Lynch, 1960). Cette approche est utile pour évaluer la quantité et la qualité de l'information spatiale stockée. Il existe cependant certaines limites à cette approche car les mesures peuvent refléter le langage de l'individu ou sa capacité d'esquisse plutôt que sa connaissance spatiale.

Les tests de reconnaissance sont utilisés pour tester la connaissance des points de repères des utilisateurs (Goldin & Thorndyke, 1982). Les tests de reconnaissance peuvent consister à déterminer si un objet a été vu dans un environnement particulier ainsi que la reconnaissance de son emplacement. Ces tests incluent des tâches telles que la reconnaissance de scènes avec une photo après un trajet (Dogu & Erkip, 2000) ou le tri de photos pour montrer une route (Goldin & Thorndyke, 1982). La reconnaissance de lieu incluant la reconnaissance de points de repères et de sa localisation est une composante essentielle du wayfinding dans des environnements à grande échelle. Ces deux tâches de reconnaissance sont des mesures efficaces pour évaluer la qualité et la quantité de la connaissance des points de repères de l'utilisateur.

2.5.4. Allure de déplacement

Uzan (2010) définit plusieurs types de comportement en mobilité : la marche franche, la marche hésitante et la marche perdition. L'allure du participant va être corrélée avec la charge attentionnelle nécessaire lors de la consultation d'un support d'information. Une allure de déplacement dégradée (ralentissement, arrêt) va donc signifier que l'activité mentale à réaliser par le participant lui demande une forte ressource attentionnelle et donc que l'information à traiter est de nature complexe (Oulasvirta et al., 2005).

2.5.5. Issue de la consultation

La prise d'information lors d'un déplacement en transport en commun peut être soit recherchée, soit prise, soit manquante (Lecomte et Patesson, 2004). Il est important de spécifier si la consultation d'un support est vraiment réussie, c'est-à-dire savoir si le participant a trouvé la réponse qu'il souhaitait, si l'issue est alors positive et lui a permis de réaliser l'activité concernée ou bien si la consultation a été infructueuse et n'a pas entraîné la réussite de l'activité cognitive à laquelle elle est rattachée.

3. Rôle de la perception haptique pour le déplacement

Ce chapitre vise à définir l'intérêt et les limites de l'utilisation de la modalité haptique pour un outil soutenant l'activité de déplacement piéton urbain.

En 1960, Geldard, présentait les quatre caractéristiques de la modalité haptique : (1) l'habileté de la peau à faire des discriminations temporelles et spatiales rivalisant avec la vue et l'audition, (2) l'efficacité des sensations cutanées pour capter l'attention, (3) la grande surface de stimulation potentielle de la peau (entre 1,8 m2 et 2,2 m2 pour un adulte) et (4) la sous-utilisation de cette modalité pour présenter des informations.

La modalité haptique humaine comprend à la fois la kinesthésie et le sens tactile. La kinesthésie est issue d'un mouvement propre du sujet ou lié à l'application d'une force externe. Le sens tactile est mis en jeu lorsque l'information est le résultat des stimulations issues d'un contact fin, précis ou léger de la peau avec diverses matières. La modalité sensorielle haptique est considérée comme un sens actif. Contrairement à la vision ou à l'audition où le prélèvement d'information ne modifie pas physiquement son support, l'occurrence du sens haptique relève obligatoirement d'une interaction physique avec l'environnement. La perception haptique met en jeu un phénomène complexe et encore mal compris d'échange de paramètres de nature physique entre l'homme et les objets de son environnement (Benali-Khoudja, Hafez, Alexandre, & Kheddar, 2004).

3.1. Physiologie de l'appareil tactile humain

La peau est l'organe perceptif le plus étendu avec une surface comprise entre 1,8 m^2 et 2,2m^2 pour un adulte. Elle possède une innervation afférente très riche, dont la densité varie beaucoup d'un territoire à l'autre. La face et les extrémités sont très richement innervées. Ces différences de densité en récepteurs, appelés mécanorécepteurs, sont à l'origine de la sensibilité différentielle selon les différentes parties du corps.

La sensibilité cutanée est impliquée lors de la pression, du toucher (sensibilité à la vitesse), de l'étirement et de la vibration de la peau. A cela s'ajoute la perception de la température issue de récepteurs dits thermo-algiques. Ces récepteurs sont localisés dans tout le corps sous la forme de minuscules corpuscules bulbaires, axiaux ou cylindriques.

La sensibilité à la pression est mise en jeu par des appuis importants sur le revêtement cutané. Le sens tactile est au contraire le résultat d'un contact léger avec la peau, glabre ou pileuse. La sensibilité à la vibration répond à des variations de pression dans une gamme de fréquence de 30 à 1500 Hz. Ces qualités sont liées à la présence de récepteurs sensoriels différents dans l'épaisseur de la peau : épiderme, derme, hypoderme. On distingue cinq types de récepteurs cutanés mécaniques, dont la répartition varie selon que la peau est glabre ou pileuse, et selon l'épaisseur de la peau (voir Figure 5).

3.1.1. Les mécanorécepteurs

(1) Les corpuscules de Meissner : situés immédiatement sous l'épiderme dans les papilles dermiques, sont couplés mécaniquement au tissu environnant par de fins filaments de tissu conjonctif. Ces corpuscules de Meissner sont des récepteurs superficiels à adaptation rapide particulièrement sensibles à la vitesse d'établissement du stimulus.

(2) Les disques de Merkel : à la base de l'épiderme, ce sont des formations particulières composées par les ramifications d'une fibre myélinisée dont chaque terminaison se termine par un disque. Ces récepteurs ou disques de Merkel sont des récepteurs superficiels, qui répondent à des pressions localisées (enfoncement de la peau) et dont la réponse au stimulus est phasico-tonique à adaptation lente. Ils peuvent ainsi coder la position et la vitesse du stimulus.

(3) Les corpuscules de Ruffini : ces récepteurs sont des récepteurs profonds sensibles à la pression, toniques et à adaptation lente. Ils sont sensibles à l'étirement de la peau. Ils sont également

retrouvés dans les articulations, ancrés aux ligaments.

(4) Les corpuscules de Pacini : ces récepteurs profonds sont de type phasique et sont particulièrement sensibles aux vibrations.

(5) Les terminaisons nerveuses libres : elles sont souvent épaisses et se développent autour de la peau pileuse. Les terminaisons se situent sous les glandes sébacées, tout autour de la racine du poil. Ces récepteurs sont sensibles aux mouvements des poils.

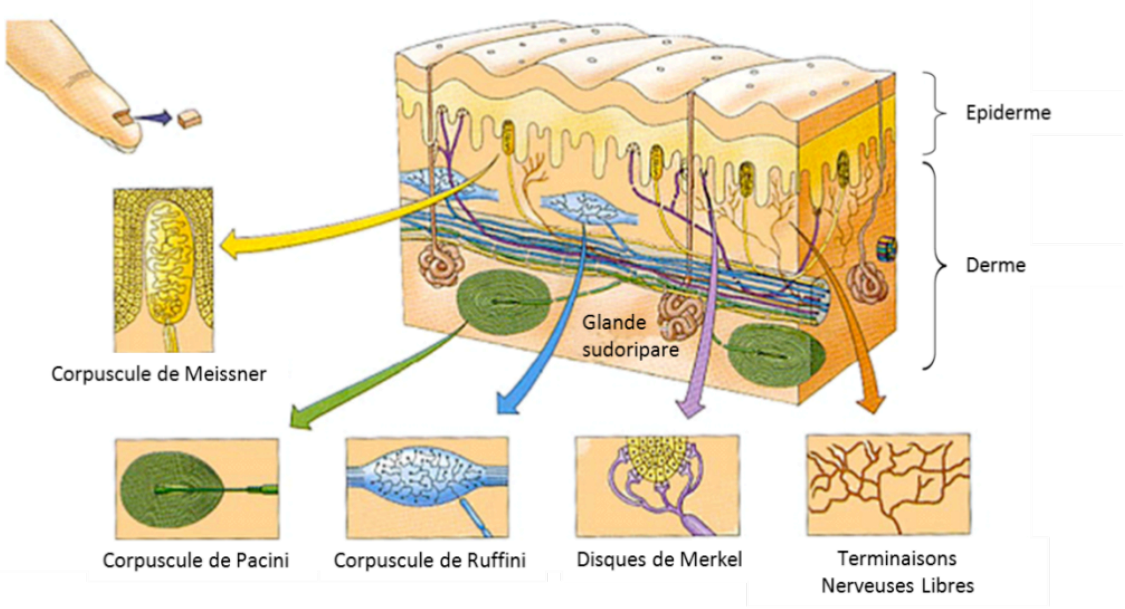


Figure 5. Situation de différents types de mécanorécepteurs

3.1.2. Rôle de chaque mécanorécepteur dans la perception

Les mécanorécepteurs de Merkel et de Meissner présentent des champs récepteurs étroits et bien délimités tandis que les corpuscules de Pacini et de Ruffini ont à l'inverse des champs récepteurs étendus avec des limites floues. Les disques de Meissner et de Merkel permettent de distinguer deux stimulations différentes et proches spatialement. Ils permettent également de détecter avec finesse la texture des objets. Les corpuscules de Ruffini et de Pacini permettent de sentir de façon globale le contact avec un objet. Ils permettent également de détecter le déplacement d'objets sur de grandes régions de la peau.

La densité de la peau en mécanorécepteurs est très variable. La paume de la main possède environ 17 000 fibres liées à des mécanorécepteurs. À l'extrémité des doigts, la densité comme la proportion en corpuscules de Meissner, récepteurs du tact, sont particulièrement importantes (voir Figure 6).

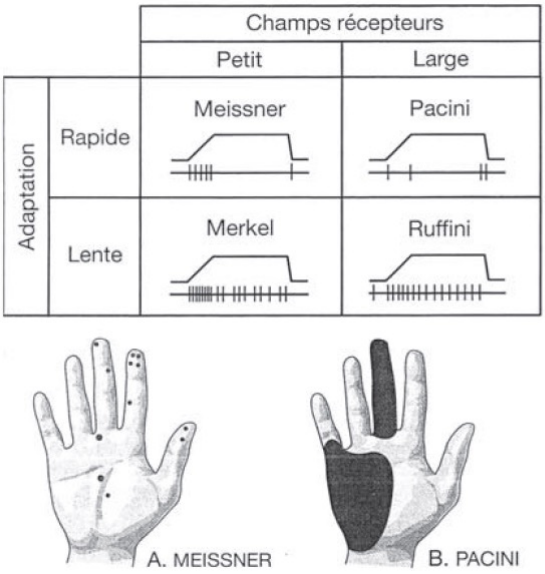


Figure 6.Classification des mécanorécepteurs cutanés selon leur adaptation et la taille de leur champ récepteur. Illustration de la taille du champ récepteur des A : corpuscules de Meissner et B : corpuscules de Pacini au niveau de la peau palmaire.

Une interface est dite tactile lorsqu'elle sollicite un ou plusieurs de ces différents capteurs biologiques. Autrement dit, une interface tactile est une interface qui doit pouvoir reproduire une ou plusieurs modalités d'excitation tactiles.

Chacune des modalités d'excitation tactile obéit à des plages de fonctionnement en terme de fréquences et d'amplitude du signal d'excitation (voir Tableau 1).

3.1.2.a) Récepteurs sensibles à la pression

Les mécanorécepteurs à adaptation lente sont des récepteurs de pression. Les disques de Merkel (superficiels) et les corpuscules de Ruffini (profonds) sont des récepteurs à adaptation lente, qui codent l'intensité de la stimulation par la fréquence de leurs potentiels d'action. Ils sont actifs dès le début de la pression exercée sur le revêtement cutané et ne cessent de l'être qu'à la fin de celle-ci. Ils codent donc l'intensité et la durée de la pression. Grâce à leur structure (ancrage mécanique dans le derme), les corpuscules de Ruffini répondent également à des étirements de la peau. Cette sensibilité à l'étirement est directionnelle, ce qui permet à ces récepteurs d'informer le système nerveux central sur les forces et les directions des cisaillements cutanés accompagnant un mouvement articulaire.

3.1.2.b) Récepteurs sensibles à la vitesse

Ils comprennent deux types de récepteurs. Les récepteurs des follicules pileux qui sont à adaptation relativement rapide. La fréquence des potentiels d'action émis est proportionnelle à la vitesse d'inclinaison des poils. Si l'on incline doucement les poils du dos de la main, sans toucher à la peau elle-même, et que l'on maintient les poils dans cette nouvelle position, la sensation n'apparaît que durant le mouvement d'inclinaison des poils. **Les corpuscules de Meissner**, localisés dans la peau glabre, qui détectent les variations de contact léger des objets avec la peau et sont sensibles aux vibrations pour des fréquences comprises entre 5 et 200 Hz.

3.1.2.c) Récepteurs sensibles à la vibration

Les corpuscules de Pacini sont des récepteurs phasiques, qui ne répondent ni à la vitesse ni à la durée de la stimulation. Ils sont sensibles uniquement aux variations rapides d'intensité et donc, à l'accélération de la déformation cutanée. La sensibilité de ces récepteurs est optimale pour des fréquences de vibration cutanée de 300 Hz, mais ils répondent dans une gamme de fréquence allant

de 30 à 1 500 Hz. Ils sont localisés dans le tissu adipeux sous-cutané mais aussi dans les tendons, les articulations, le périoste et les muscles de la face.

Caractéristiques	**Corpuscules de Meissner**	**Corpuscules de Pacini**	**Disques de Merkel**	**Organes de Ruffini**
Vitesse d'adaptation	Rapide (i.e. sensible à la vitesse)	Rapide	Lente	Lente
Localisation	Derme superficiel	Derme et sous-cutané	Epiderme basal	Derme et sous-cutané
Taille moyenne des champs récepteurs	13mm²	101mm²	11mm²	59mm²
Résolution spatial	Pauvre	Très pauvre	Pauvre	Correcte
Répartition (%)	43%	13%	25%	19%
Fréquence de réponse	10-200 Hz	70-1000Hz	0.4-100Hz	0.4-100Hz
Seuil	40Hz	200-250Hz	50Hz	50Hz
Sensibilité à la température	Non	Oui	Oui	Pour > 100Hz
Sommation spatiale	Oui	Non	Non	Inconnue
Sommation temporelle	Oui	Non	Non	Oui
Type de paramètre physique ressenti	Stimulation superficielle sur la peau (forme, vitesse...)	Vibration, accélération	Pression, forme locale	Etirement de la peau, force locale

Tableau 1. Récapitulatif des caractéristiques des mécanorécepteurs (Youngblut, Johnston, Nash, Wienclaw, Will, 1996).

3.2. Traitement cognitif de la perception haptique

Selon Norman (1999), la réalisation d'une tâche par l'utilisateur se fait selon un cycle perception/action : l'utilisateur qui perçoit l'état du système l'évalue pour décider de l'action nécessaire à la réalisation de sa tâche. Par la suite l'état du système change, ceci entraînant un nouveau cycle. L'exécution de ce cycle se base sur un ensemble varié d'interactions (en entrée et en sortie), que nous assimilons au terme de *modalité*. Les modalités sont étroitement associées aux capacités de perception et d'action du sujet.

3.2.1. La mémoire haptique

La mémoire est notre capacité à capter, stocker et rappeler des informations perceptives. Il existe plusieurs types de mémoires. Parmi elles, la mémoire sensorielle est celle qui va encoder l'information via des stimuli parvenant aux différents organes sensoriels. Elle tient compte des propriétés physiques et proprioceptives des stimuli. Cependant, elle est extrêmement brève (300 à 500 ms en moyenne). Les sensations haptiques sont difficiles à mémoriser et à décrire de façon précise (MacLean, 2000). Toutefois, (Van Erp, Van Veen, Jansen, & Dobbins, 2005) montre que les sensations haptiques semblent être plus facilement encodées lorsqu'elles sont associées à une représentation sémantique.

Si l'on se place dans la perspective des interfaces tactiles pour l'aide à la navigation, un des premiers défis à relever consiste à évaluer la quantité d'information qu'il est possible de mémoriser (Luk, Pasquero, Little, MacLean, Levesque, & Hayward, 2006).

3.2.2. Différenciation des ressources

L'utilisation de l'haptique est intéressante pour concevoir des interfaces d'aide à la navigation car elle ne devrait pas altérer les ressources visuelles et auditives de l'utilisateur qui sont aussi

importantes en situation de mobilité. Cette affirmation repose sur la théorie de (Wickens, 1984) qui met en évidence l'existence de réservoirs différenciés de ressources, rattachés chacun à un canal particulier de traitement. Les canaux de traitement de l'information sensorielle seraient indépendants. En d'autres termes, lorsque deux tâches différentes réalisées en même temps empruntent des canaux de traitement différents, le modèle prédit l'absence de détérioration des performances globales.

3.2.3. Attirer l'attention

L'attention nous permet de sélectionner les informations pertinentes face à la masse de stimuli mais limite notre capacité à suivre tous les événements dans l'environnement. Un des enjeux pour la conception d'un dispositif d'aide est de rendre saillantes les informations lorsqu'elles sont nécessaires. Dans le domaine de la conduite automobile, Lee & al. (2004) montrent que la composante vibratoire permet d'alerter automatiquement l'attention du conducteur vers l'information que l'on cherche à lui communiquer. Une autre expérience confirme cette hypothèse, en précisant qu'un envoi de stimulations vibratoires, très proches les unes des autres pendant un certain laps de temps, permet de focaliser l'attention du conducteur sur la situation de conduite, détectée « à risque » par le système. Les signaux vibratoires peuvent être envoyés au niveau de la taille des conducteurs (Ho, Tan, & Spence, 2005) ou bien par l'intermédiaire du siège du conducteur (Van Erp, et al., 2005) La modalité haptique pourrait donc s'avérer pertinente pour attirer l'attention de l'utilisateur vers des informations concernant son déplacement, sans que celles-ci viennent perturber ses ressources attentionnelles visuelles et auditives.

La notion de modalité active ou passive est également intéressante à considérer dans la description des techniques d'interaction (Roudaut, Lecolinet, 2007). Contrairement à une modalité passive, une modalité active suppose un mouvement explicite de l'utilisateur pour percevoir des informations et pour réaliser une action. Les modalités passives permettent aux interfaces utilisateurs de s'adapter au contexte d'interaction sans action explicite de l'utilisateur. Le développement de services contextuels est aujourd'hui un enjeu. Cela implique également la possibilité d'envisager des techniques d'interaction combinant des modalités actives et passives (Roudaut et Lecolinet, 2007).

3.3. Perception haptique en situation de mobilité

La littérature manque de données sur la perception haptique en mobilité dans un environnement réel. Les études ont été essentiellement conduites dans des environnements de laboratoire et sur des échantillons restreints (Karuei, Maclean, Foley-Fisher, MacKenzie, Zoch et El-Zohairy, 2011).

En quelques années, la multiplication et la diversité des dispositifs mobiles dans la vie quotidienne ont entraîné de nouveaux défis pour les concepteurs : la taille de l'écran, la difficulté du pointage et de la saisie de texte, mais aussi la gestion des services en situation de mobilité constituent de nouvelles contraintes. De nombreuses techniques d'interaction ont été proposées pour répondre à ces nouvelles problématiques.

Les dispositifs mobiles nécessitent de nouvelles techniques d'interaction adaptées à leurs spécificités. Ces dispositifs ont des particularités concernant leurs usages, leurs formes, et leurs capacités interactives. Une autre spécificité d'un dispositif mobile est que l'attention de l'utilisateur n'est pas constamment dirigée vers le dispositif et que l'utilisateur peut être à tout moment interrompu par un appel, ou dérangé par des éléments de son environnement. . Dans la perspective de la conception de dispositifs intégrant de nouvelles techniques d'interaction, nous proposons une classification de ces différentes techniques adaptées aux terminaux mobiles.

3.4. L'interaction multimodale

Dans le cadre de la conception d'un dispositif d'aide au déplacement qui mêle interaction visuelle (avec le smartphone) et interaction haptique, il est nécessaire de s'intéresser à l'interaction multimodale et au traitement cognitif de cette dernière.

Les interfaces multimodales intègrent une variété de signaux ou modalités. Elles permettent d'obtenir des interactions humain-machine plus naturelles et plus efficaces. Elles sont capables de répondre à de nombreuses exigences qui peuvent être liées à l'utilisateur, au type de tâche ou

d'activité à réaliser, à la nature de l'information à transmettre ou bien encore aux contraintes de l'environnement. Présenter l'information sous des modalités diverses peut libérer la surcharge de l'un des canaux et ainsi augmenter la capacité de traitement de l'information par l'utilisateur (Wickens, 1984). Les contraintes environnementales peuvent justifier l'utilisation d'une modalité supplémentaire pour pallier les limites de la modalité principale. Ainsi un affichage visuel sur le petit écran d'un appareil mobile peut être complété par une modalité auditive ou vibratoire. Une interface multimodale dans ces situations peut être considérée comme une interface unimodale multiple. L'efficacité d'une interface unimodale multiple est basée sur la redondance d'une information qui pourrait être non reçue ou reçue sous forme dégradée par le canal de transmission principal. La même information est transmise à travers une modalité sensorielle alternative ou additionnelle. L'avantage d'interfaces multimodales ne réside pas seulement dans le fait d'apporter de la redondance. Une interface multimodale permet également de répartir de façon optimale les informations sur différents canaux sensoriels spécifiques chacun étant adapté à certains informations. Il est donc important de connaître les caractéristiques de chaque modalité sensorielle.

3.4.1. Efficacité de l'interaction multimodale

Pour que l'interaction multimodale soit efficace, il faut que les informations présentées par l'intermédiaire des différents canaux sensoriels soient coordonnées et congruentes aussi bien dans l'espace que dans le temps (Kolers & Brewster, 1985). Bien que les stimuli puissent objectivement être synchronisés dans le temps et dans l'espace, cela ne conduit pas nécessairement à une perception harmonieuse dans toutes les modalités sensorielles. La connaissance de ces problèmes d'incongruence est importante pour la conception d'interfaces multimodales efficaces. Certaines modalités sensorielles ne sont pas pertinentes pour des interfaces unimodales. Des modalités sensorielles peuvent donner des effets spécifiques lorsqu'elles sont combinées dans une interaction multimodale, alors que ces effets ne sont pas présents lorsque ces interactions sont utilisées dans une interface unimodale.

3.4.2. Avantages et inconvénients de l'information multimodale

Les avantages de l'information multimodale sont importants pour les personnes présentant un déficit sensoriel ou cognitif, ou bien pour les personnes évoluant dans des environnements bruyants, saturés en informations. Dans ces situations, la redondance de l'information permet de pallier le déficit d'un des canaux de transmission. La transmission multimodale peut être utile pour des personnes ayant un déficit permanent d'un canal d'information (d'acuité visuelle par exemple) ou bien un besoin temporaire dans un environnement particulier (conduite d'un véhicule) Les inconvénients de l'information multimodale sont surtout liés aux difficultés de conception d'un dispositif multimodal. Le concepteur du dispositif doit déterminer quelle modalité sensorielle est la plus appropriée pour transmettre chaque composante de l'information.

Il est évident que l'éventail des modalités disponibles est large si l'on s'adresse à des sujets ayant des capacités sensorielles complètes. Il n'en est pas de même pour les sujets qui ont des capacités réduites de façon définitive ou temporaire. Nous présentons ci-dessous un récapitulatif des avantages et des inconvénients des différents canaux sensoriels pour transmettre différents types d'informations. Il faut cependant souligner qu'il ne s'agit que d'un aperçu général. L'intérêt d'une modalité sensorielle peut être altéré ou amplifié par différents facteurs tels que la technologie disponible, le contexte et l'activité pour laquelle l'information est donnée. Ces indications sont essentielles pour le concepteur de dispositif qui doit allouer chaque partie de l'information nécessaire à une modalité sensorielle préférentielle. Si l'on prend l'exemple d'un signal d'alarme, l'information comprend une phase de perception qui peut être en dehors de la zone d'intérêt principal, puis une phase de compréhension et une phase d'action. La modalité sensorielle préférée pour la première phase pourrait être plutôt auditive alors que la modalité utilisée pour les deuxième et troisième phases pourrait être plutôt visuelle. Il est donc important de comprendre l'activité et son contexte pour la conception d'interface multimodale réussie, qui sera finalement plus opérante que la somme de plusieurs interfaces unimodales.

Il existe différentes recommandations pour la conception multimodale (Tableau 2) :

Caractéristiques de l'information	Vision	Audition	Haptique	Commentaires
Information liée au temps (ex : durée, intervalle, synchronisation et rythme)	□	++	+	
Information spatiale (ex : taille, distance)	++	□	□	
Information de localisation absolue et relative en une ou plusieurs dimensions (ex : localiser la corbeille sur le bureau)	++	+	+	
Information privée à destination d'un utilisateur ou d'un groupe spécifique	□	-	++	
Information en dehors de la zone d'intérêt principal ou à l'extérieur de la zone d'attention spatiale	-	++	+	Le champ visuel de l'utilisateur est limité. Les dispositifs portés avec interaction haptique sont adaptés à cette situation
Information d'alerte (combinaison perception, compréhension, action)	-	++		Vision : champ de vision limité Haptique : Le dispositif doit être porté
Information représentant des changements au fil du temps (ex : représentation d'un processus)	++	+	+	
Généralité culturelle (sens général du symbole à travers les cultures)	-	+	+/ ?	
Mémorisation (facilité à reconnaître et identifier d'un symbole perçu plus tard dans le temps)	+	++	-/ ?	
Information représentant un objet physiquement réel	++	-	□	
Information doit être persistante	++	--	++	
Information concernant des paramètres quantitatifs relatifs	+	++	+	Ex : fréquence du son, luminosité, pression, intensité
Information concernant des paramètres quantitatifs absolus	++	-	−−	
Processus ambiant – l'information doit être transmise à la périphérie et traitement en arrière plan	--	+	−	
Grand nombre d'items concernant la mémoire sensorielle ou de travail	+	□	−	
Usage des symboles : ++ : très adapté pour représenter l'information + : assez bon mais pas optimal □ : neutre - : pas très adapté mais possible -- : guère possible ou impossible				

Tableau 2. Récapitulatif de l'adéquation entre les caractéristiques de l'information et les différents canaux sensoriels (ETSI EG, 2002).

3.4.2.a) Effets de la modalité

Les interfaces multimodales ne sont pas des interfaces multi-unimodales. Le résultat d'une interface multimodale peut être différent de la somme de ses composants. Trois questions importantes doivent être considérées :

1 – L'interaction entre les modalités : une modalité peut-elle affecter la perception dans une autre modalité ?

2 – La congruence entre les modalités : est-ce qu'une information qui est objectivement la même dans deux modalités est perçue de façon identique par le sujet ?

3 – Le conflit entre modalités : Quand les informations transmises diffèrent selon les modalités, quelle est la perception globale ? L'objectif doit être de fusionner les perceptions de plusieurs modalités dans un ensemble cohérent.

Nous allons à présent décrire les possibilités de différentes combinaisons de modalité sensorielles.

Vision et audition

La vision est la modalité dominante dans le domaine spatial (Hay, Pick, & Ikeda, 1965). C'est cette modalité qui permet par exemple l'estimation d'une longueur et d'une la taille. Cependant, l'audition est la modalité dominante dans le domaine temporel (Kolers & Brewster, 1985). Il existe une incohérence sur la perception de la durée par les deux modalités, c'est à dire que les événements auditifs semblent plus longs que les évènements visuels (Behar & Bevan, 1961; (Walker & Scott, 981). Concernant le coût induit pas le changement d'attention au passage d'une modalité à l'autre, il n'existe aucune indication sur le fait que le passage de la vision à l'audition entrainerait des coûts supplémentaires (Spence & Driver, 1997).

Vision et kinesthésie

Les relations entre vision et kinesthésie sont similaires à celles qui existent entre vision et l'audition. La vision domine la kinesthésie dans le domaine spatial, mais par contre la kinesthésie domine la vision dans le domaine temporel (Handel & Buffardi). Il existe également une incongruité dans la perception de la durée, similaire à celle qui existe entre vision et audition. Les événements kinesthésiques semblent plus longs que les évènements visuels. En ce qui concerne le coût sur le plan du changement de l'attention, il existe des coûts supplémentaires lorsqu'on passe du toucher à la vision, mais pas dans le sens inverse. En général, toucher et vision fonctionnent souvent ensemble dans de nombreuses interfaces. Le point fort est la coordination œil-main bien développée pour de nombreux utilisateurs.

Audition et kinesthésie

Dans le domaine spatial, la kinesthésie domine l'audition, mais dans le domaine temporel c'est l'inverse. Les évènements temporels sont perçus avec une bonne congruence entre audition et kinesthésie. Le passage de la kinesthésie à l'audition entraîne des coûts d'attention additionnels. En général, l'audition et la kinesthésie ont les mêmes inconvénients, de sorte que la plus-value de leur association reste limitée. Cependant leur combinaison pourrait être utile pour construire de la redondance. Il faut également souligner que souvent les vibrations produisent également du son. Ajouter des informations kinesthésiques à de la parole ou à des icônes auditives peut être utile car les informations provenant de la parole peuvent être très faibles ou difficiles à utiliser ; ainsi la kinesthésie peut aider à supprimer l'ambiguïté d'icones auditives trop nombreuses.

L'avantage de la présentation d'informations redondantes est évident lorsque le canal sensoriel originel est dégradé, par exemple par des facteurs environnementaux, tels qu'un environnement visuellement encombré (Wogalter, Rashid, Clarke, & Kalsher, 1991). Cependant toutes les interfaces multimodales n'aboutissent pas à de meilleures performances. Il a été constaté que l'utilisation de la parole comme source d'information nuit à la performance de l'opérateur dans un environnement de salle de contrôle, alors que c'est typiquement un environnement où il existe un besoin de développer des interfaces multimodales afin de profiter des ressources non utilisées. Le succès d'une interface multimodale est donc aussi lié aux exigences de l'activité ou de la tâche. Les résultats favorables de la présentation redondante de l'information sont observés pour des tâches de niveau relativement bas. Des effets indésirables apparaissent pour des tâches qui exigent des niveaux plus élevés de traitement cognitif. Cependant il n'existe que peu de recherches systématiques concernant l'influence de la tâche ou à l'activité sur la performance des interfaces multimodales

3.5. Les dispositifs haptiques mobiles

L'interaction utilisant la modalité haptique est techno-dépendante, c'est à dire qu'elle est conditionnée par les dispositifs et les interfaces développés pour communiquer avec ce type

d'interaction.

Le développement de systèmes mobiles communicants et multifonctions comme les smartphones a fait apparaître le besoin de moyens d'interaction évolués qui utilisent de plus en plus la modalité haptique pour transmettre des informations contextuelles ou de navigation. Cette section présente certains dispositifs haptiques mobiles existants sous forme de prototype de recherche dédiés à l'aide au déplacement.

Les dispositifs haptiques d'aide au déplacement piéton sont tous au stade de la recherche (prototype) et pour la majorité conçus dans une démarche techno-centrée. Il existe 2 grandes catégories de dispositifs : les tenus et les portés.

3.5.1. Les interfaces portées

Une fois l'utilisateur équipé, les interfaces portées sur le corps ne nécessitent pas une action consciente pour les maintenir en position. Elles présentent l'avantage de libérer les mains et autres membres pour toute autre tâche. Nous distinguons deux sous catégories : les interfaces de type accessoire (bracelet, ceinture, etc.) et les interfaces de type vêtement qui viennent compléter ou substituer l'habillement habituel de l'utilisateur.

3.5.1.a) Les interfaces accessoires

Les interfaces de la catégorie accessoires sont conçues dans le but de répartir des actionneurs sur le corps de l'utilisateur afin de libérer complètement les mains tout en restant discrètes pour une utilisation quotidienne. Elles utilisent toutes des moteurs électromagnétiques vibrants (rotatif à masselotte ou linéaire). L'avantage principal de ces interfaces vient de l'utilisation de la distribution spatiale des actionneurs sur le corps pour donner des indications contextuelles. Elles sont donc très souvent utilisées pour la navigation piétonne. La Figure 7 présente deux exemples de bracelets. Le GentleGuide (Bosman, 2003) est composé d'un élément vibrant fixé sur chaque poignet. Il s'utilise couplé à un système de guidage GPS et permet d'améliorer considérablement les performances d'orientation et de circulation de l'utilisateur. Le Rotating Compass (Rukzio, 2005) est un bracelet dont le fonctionnement est couplé avec les informations issues d'un écran public donnant de l'information contextuelle (comme par exemple, le plan de localisation dans un centre commercial). Le fonctionnement synchrone des deux appareils permet de fournir des indications de directions à l'utilisateur aussi bien tactiles que visuelles.

(a) (b)

Figure 7 : Systèmes de navigation tactile utilisant des actionneurs vibrants électromagnétiques fixés au poignet (a) GentleGuide, (Bosman et al., 2003) (b) Rotating Compass (Rukzio, 2005).

La Figure 8 présente des ceintures tactiles. Un ensemble d'actionneurs est distribué autour de la taille de l'utilisateur. Les stimuli tactiles permettent d'indiquer une direction en exploitant la distribution spatiale des actionneurs.

(a) (b)

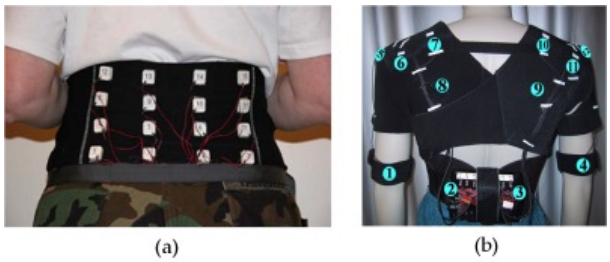
Figure 8 : Ceintures tactiles (a) Tactile Wayfinder, (b) ActiveBelt.

Les accessoires tactiles présentés ci-dessus ont été développés dans le but de faciliter la navigation de personnes dans leur environnement habituel. Elles sont conçues pour fonctionner couplées avec un système de géo-localisation par exemple. Dans tous les cas, elles fonctionnent avec des actionneurs électromagnétiques dont les possibilités de contrôle sont limitées mais suffisantes pour remplir la tâche demandée. Bien que leur encombrement soit réduit et qu'elles ne nécessitent pas une action consciente de l'utilisateur lors de l'utilisation, elles viennent remplacer des accessoires d'habillement souvent considérés comme esthétiques ce qui complique leur mise sur le marché grand public. La qualité de leur design est donc capitale pour faciliter l'acceptabilité de la part du public.

3.5.1.b) Interfaces « vêtement »

Les interfaces de type vêtement se différencient des accessoires par le fait qu'elles viennent soit compléter soit substituer un élément d'habillement standard.

Nous pouvons répertorier des vestes tactiles utilisées pour des applications militaires. Ces dispositifs sont utilisés pour l'entrainement des soldats en situations extrêmes. Il s'agit de transmettre des informations sur le champ de bataille alors que les autres sens sont surchargés par l'environnement et la situation. La distribution spatiale des actionneurs sur le corps de l'utilisateur est ici utilisée pour transmettre des motifs tactiles mimant les gestes de consigne habituels dans les interventions militaires. Lors de la phase d'entrainement ces vestes sont également utilisées dans des environnements virtuels.



(a) (b)

Figure 9 : Vestes tactiles pour applications militaires: (a) Matrice 4x4 vibreurs (b) TactaVest.

La figure 6 présente un système qui applique un retour haptique au pied pour donner des indications de direction. Il s'agit de simuler une ornière que l'utilisateur devra suivre. Cet effet est obtenu en modifiant l'inclinaison de la plante du pied afin que l'utilisateur puisse détecter la direction à suivre.

(a) (b)

Figure 10. : CabBoots : (a) principe de fonctionnement (b) prototype

Les interfaces de type vêtement présentent les mêmes avantages que les interfaces de type accessoire mais elles sont beaucoup plus encombrantes et présentent l'inconvénient de ne pas être adaptées à toutes les tailles. Bien que l'information qui peut être véhiculée soit plus riche qu'avec les accessoires, il semble que leur utilisation quotidienne soit trop contraignante pour le marché « grand public ».

3.5.2. Dispositifs visant à informer pour l'orientation

Il peut être judicieux de présenter les informations de distance, de direction, les alertes et un certain nombre de points de repère en utilisant la modalité haptique car les utilisateurs sont assez

performants pour interpréter et mémoriser des relations spatiales présentées grâce à la modalité haptique. (Jones, et al., 2009). Les interfaces haptiques utilisent la proprioception et à la localisation des vibrations sur le corps de l'utilisateur. et La modalité haptique est le plus souvent utilisée pour donner des informations de direction ou d'alerte en relation avec la tâche de navigation. (Van Erp, et al., 2005). Moins fréquemment, des informations plus abstraites comme des points de repère ont été aussi présentées en utilisant le sens du toucher. Ainsi, un certain nombre d'études ont montré l'efficacité de la présentation haptique pour des informations spatiales. Cependant des données supplémentaires sont nécessaires pour confirmer cette efficacité dans différentes situations d'usage.

Plusieurs dispositifs proposent une fonction de guidage utilisant la modalité haptique tel que le Viflex (Giachristis, Randall, & Roselier, 2012) est un dispositif haptique compact et portatif conçu pour une interaction avec le doigt en situation de navigation piétonne (mobilité). Le système comprend une plateforme mobile sur une structure mécanique articulée. La plateforme possède des actionneurs et un détecteur de position. La déviation totale est de 20° (+/- 10°) autour d'une surface de référence. Le dispositif fournit une force de retour à 2 degrés de liberté. Le couple moyen sur toute la course est de 20 Nm. La taille de la plateforme mobile est de 45 x 45 mm2 et le poids de l'appareil est de 450 g. L'interaction générée est un compromis entre une stimulation tactile et haptique. La communication sans fil avec un ordinateur de poche PDA permet de suivre un certain nombre de patterns de navigation mémorisés. Pour ce qui est du langage, le basculement de la plateforme va donner la direction à suivre mais elle peut présenter également des motifs haptiques plus complexes pour signaler un point de repère par exemple.

Le travail de conception de l'interaction en laboratoire avec le viflex a été réalisé lors d'un stage au LISA, par contre la pertinence/performance de l'utilisation du viflex pour guider des personnes voyantes en environnement urbain (ville et transport en commun) n'a pas été évaluée.

Roselier & al, 2006

3.5.3. Dispositif visant à la Transmission d'émotions

Heikkinen, Olsson, & Väänänen-Vainio-Mattila, (2009) ont montré que les interactions par le toucher sont une façon de transmettre des émotions à distance entre deux utilisateurs.

4. Concevoir un outil haptique d'aide au déplacement

4.1. Un outil alliant plusieurs modalités sensorielles

De nombreuses études existent sur les dispositifs multimodaux. La plupart sont centrées sur l'évaluation d'interfaces multimodales, mais peu sur le choix des modalités à utiliser.. La multimodalité permet à l'usager d'utiliser différents moyens d'interaction sensorielle (visuel, auditif et haptique) en entrée et/ou en sortie du dispositif. Comme nous l'avons vu précédemment, e le choix des modalités sensorielles dépend en grande partie du contexte de l'utilisation et des capacités de l'utilisateur. Ainsi, Jöst, Häubler , Merdes, & Malaka, 2005 a montré que pour une tâche utilisant une carte dans un environnement intérieur, 58% des usagers préfèrent utiliser des interfaces traditionnelles graphiques alors que lorsque la tâche se déroule en situation de mobilité, ce choix ne s'élève plus qu'à 25%.

Le choix de la modalité sensorielle peut également dépendre de préférences occasionnelles (la pluie est peu favorable à l'utilisation de retours visuels, le froid intense imposant le port de gants limite l'utilisation des retours vibratoires, le port d'une charge monopolisant un bras gêne le port d'un dispositif, etc. Le choix dépend de l'intégrité des sensorialités de l'usager, qui peuvent être plus ou moins altérées par l'âge ou tout autre handicap temporaire ou permanent. Le choix dépend des capacités attentionnelles de la personne (Wickens, 2002). Dans un environnement bruyant, par exemple lors de l'arrivée d'une rame, les ressources attentionnelles allouables à l'audition peuvent être entravées temporairement ; dans ce cas d'autres modalités, telles que le tactile, moins susceptible d'être perturbées, peuvent être exploitées.

Jöst, Häubler , Merdes, & Malaka, (2005) ont étudié la multimodalité des supports informationnels lors de déplacements piétons. Ces auteurs confirment que la préférence pour une modalité sensorielle est déterminée par le contexte d'utilisation, l'environnement, la tâche à réaliser ainsi que les caractéristiques de l'utilisateur. Dans ce sens la multimodalité a un intérêt pour la conception de dispositifs destinés au grand public. En effet, la conception de produits grand public vise à rendre des produits accessibles et utilisables par des personnes ayant un large éventail de capacités au sein d'une large gamme de situations sans nécessiter d'adaptation ou de conception spéciale (Naumann, Wechsung, & Hurtienne J, 2010).

4.2. Utilisation de métaphores dans la conception

Une métaphore est un procédé rhétorique par lequel on donne à un mot ou une expression le sens d'un(e) autre en vertu d'une analogie ou d'un sous-entendu. Ce mot vient du grec « metaphora » qui signifie « transport » ou « transposition ». Elle a une valeur d'illustration car elle explique par une image. En effet, la correspondance qu'elle établit entre deux objets, deux sensations, deux idées est en général signifiante, c'est même dans cette association d'idées que la métaphore trouve son pouvoir expressif.

4.2.1. Concevoir un langage haptique adapté

Nous avons vu dans le chapitre 2.1 que la mémorisation de la modalité haptique était très rapide. Afin de concevoir un langage facile à comprendre et ne demandant que très peu d'apprentissage nous nous sommes intéressés à la manière de faciliter l'encodage d'information afin de concevoir un langage facile à comprendre.

4.2.1.a) La conception de motifs vibratoires

La conception de motifs n'est quasiment jamais faite de façon systématique (Anastassova & Roselier, 2010; Jones, et al., 2009), (voir Figure 11), les dispositifs haptiques existants sont pour la plupart au stade de la recherche et quasiment aucun dispositif n'est commercialisé. Les tests des interfaces

sont généralement faits en laboratoire, mais rarement *in vivo*. La plupart des données sur la perception haptique correspond à une situation statique et il n'y a que très peu d'études sur la perception haptique en mobilité. Par exemple, Karuei, Maclean, Forely-Fisher, MacKenzie, Koch, & El-Zohairy, (2011) ont étudié la perception vibratoire à 13 endroits différents du corps en utilisant 5 intensités de vibration en situation de mobilité. La perception dépend de la localisation et du mouvement de la partie du corps : le poignet permet une bonne perception vibrotactile, et la localisation du stimulus n'entraîne pas de charge cognitive supplémentaire.

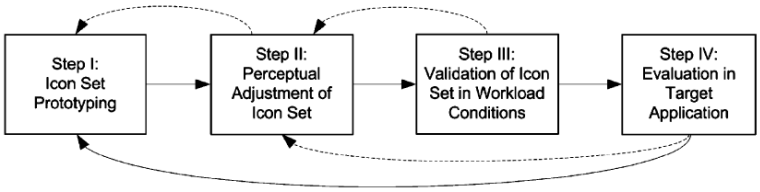


Fig. 1. A process for developing haptic icons. Solid lines are standard progression, and dotted lines indicate iterations that might be needed.

Figure 11. Processus de conception des icônes haptiques - Jones & al, 2009.

4.2.1.b) Approche sémantique

Dans l'article de (Chang, Nesbitt, & Wilkins, 2007), l'auteur cherche à comprendre comment des éléments peuvent être regroupés par le toucher à partir des principes de la Gestalt. Il émet l'hypothèse que les personnes regroupent des éléments ensemble par le toucher comme ils le feraient visuellement. On peut alors y voir une première approche par analogie dans la construction de pattern haptique.

Dans le domaine sonore (icône auditive) :

- On distingue l'approche sémantique de « l'icône auditive » (Gaver, 1993) : dans ce cas, on utilise la représentation d'objets ou de notions incarnant littéralement ou intuitivement le sens ; par exemple, un bruit de papier écrasé évoque une suppression de fichier.

- On peut utiliser également des caractéristiques musicales (mélodie, rythme, crescendo), de la même façon qu'en haptique (Van Erp & Spapé, 2003; Brown & Kaaresoja, 2006). Cependant cette approche ne permet pas toujours de déterminer facilement les informations ; il y a souvent des problèmes de saillance, de différenciation.

Dans le domaine tactile (icône tactile) :

- On a une approche plus symbolique (MacLean & Enriquez, 2003 ; (Tang, McLachlan, Lowe, Saka, & MacLean, 2005 ; Luk, Pasquero, Little, MacLean, Levesque, & Hayward, 2006). Un stimulus tactile ou haptique requiert d'être associé à un sens pour devenir une icône.

Globalement, la validation de l'efficacité des icônes pour la perception des messages dans un contexte d'application pratique a été rare et elle est au stade préliminaire. Les patterns créés doivent être basés sur l'objectif de la meilleure reconnaissance possible. Ainsi, il faut que les patterns soient saillants lorsqu'ils représentent l'urgence, non-intrusifs lorsqu'ils représentent une information non-urgente, et associés à des métaphores donc des analogies de la vie quotidienne (Chan, MacLean, & McGrenere, 2008 ; Ternes & MacLean, 2008)

4.2.2. Intérêt des icônes et d'un langage iconique

La mise en place d'un langage d'icones est intéressante pour leur fort potentiel évocateur et leur capacité métaphorique. Elles permettent une compréhension simple et une mémorisation efficace. Elles permettent une économie de place à l'écran et de temps de sélection. L'icône synthétise et métaphorise une idée sous la forme d'un pictogramme. Un langage iconique, quant à lui, est un système d'icônes ayant une homogénéité esthétique (similarité), une organisation syntaxique (ordre), et une proximité des référents sémantiques désignés (cohérence des thèmes évoqués).

4.2.3. Conception d'un langage haptique – icônes haptiques

Geldard, (1960), conçoit le premier langage tactile comprenant 45 éléments basiques variant autour de trois dimensions : l'amplitude, la durée et la localisation. Le langage a été testé sur 3 individus qui ont été capables d'apprendre le langage en seulement 12 heures en atteignant un plateau de réception de 38 mots par minute. Les recherches et le développement de la présentation d'information en langage tactile continuent de se développer. Cela est notamment dû au besoin de répondre à une augmentation continue des données que l'utilisateur doit intégrer quand il doit agir dans des environnements complexes et à la saturation des modalités visuelle et auditive. Cela est dû aussi au besoin de soutenir l'immersion dans les environnements virtuels. L'utilisation du sens du toucher est de plus en plus proposée pour répondre à ces problématiques émergentes parce que les technologies utilisées pour les dispositifs tactiles sont en train de devenir de plus en plus sophistiquées, moins intrusives, plus efficaces et acceptables pour les utilisateurs (Jones & Sarter, 2008).

La création d'icones haptiques (MacLean & Enriquez, 2003) passe par la construction d'un langage haptique. Ceci demande de comprendre comment les signaux haptiques synthétiques sont perçus et comment ils sont compris. Les expériences mises en place par MacLean, abordent la question de la perception en utilisant un système d'échelle multidimensionnelle afin d'identifier les éléments perçus à partir d'icônes haptiques complexes. Les icônes peuvent être conçues pour maximiser à la fois la différenciation des sens et la saillance individuelle.

Brewster & Brown, (2004), définissent les *tactons* (contraction de « tactile icons ») ainsi que les paramètres utilisés pour les construire et certains critères pour les créer. Selon lui, les tactons sont des messages abstraits et structurés qui peuvent communiquer des messages complexes aux utilisateurs de manière non-visuelle. Les tactons peuvent représenter des concepts d'une interface, d'objets et d'actions de façon très concise.

Les icônes visuelles et auditives (Brewster & Brown, 2004) sont, quant à elles, des moyens très puissants de délivrer une information mais pour l'instant il n'existe pas d'équivalent tactile. Dans le domaine visuel, nous avons un mot et son icône, dans la modalité auditive, nous avons un son et son « earcon » (un son qui a une signification). Dans le domaine du tactile, il y a le Braille mais il n'a pas d'équivalent iconique. C'est pourquoi, on considère que le tacton serait au Braille ce qu'est l'icône au mot et l'earcon au son : un moyen efficace et simple pour représenter des concepts sur une interface.

Chan, MacLean, & McGrenere, (2008) définissent une icône tactile comme une stimulation tactile à laquelle une signification spécifique a été assignée (MacLean & Enriquez, Perceptual design of haptic icons, 2003 ; Brown & Kaaresoja, 2006). Ces icônes ont été considérées dans des applications mobiles. Les concepteurs d'icônes ont besoin d'un mécanisme permettant de prédire la façon dont un jeu d'icônes fonctionne dans une situation donnée. Les réactions se basent sur la perception mais également sur la réaction des utilisateurs au cours de la situation.

4.2.4. Les paramètres utilisés pour coder l'information haptique

Le sens du toucher offre différentes façons de coder l'information avec par exemple les paramètres de temps, d'espace, de température, et de pression. Il peut être très précis et les sujets parviennent à sentir de très faibles changements.

L'utilisation de la peau comme canal de communication implique d'avoir des connaissances sur la façon dont les personnes sont sensibles aux différents paramètres existants. Un paramètre approprié pour encoder des informations en haptique est un paramètre pour lequel les utilisateurs peuvent identifier plusieurs niveaux et qui ne dégradent pas les autres paramètres lorsqu'on les combine entre eux (Brown & Kaaresoja, 2006).

Les recommandations disponibles sur le sens vibro-tactile et le nombre d'applications évaluées sont encore très limités (ETSI EG, 2002). La plupart des recommandations sont basées sur la recherche fondamentale mais très peu proviennent d'études en situation écologique (Van Erp, Van Veen, Jansen, & Dobbins, 2005).

4.2.4.a) Notion de seuil perceptif

Il est judicieux d'optimiser le seuil de détection de la sensation grâce à la fréquence et à la localisation de l'interaction. L'abaissement du seuil de détection peut avoir des avantages, par exemple dans notre cas de conception d'un dispositif technologique, sur la consommation d'énergie.

4.2.4.b) La fréquence

La perception de la fréquence tactile est entre 10 et 600Hz, cependant il est préférable d'utiliser seulement les fréquences entre 50 et 400Hz (Goble, Collins, & Cholewiak, 1996) et le seuil le plus bas est autour de 250 Hz. Mais parfois les actionneurs vibrent à une fréquence qui n'est pas modulable. Ce paramètre n'est donc pas forcément utilisable selon l'actionneur utilisé.

La fonction qui décrit la relation entre l'amplitude nécessaire pour détecter les vibrations et la fréquence de stimulation représente les limites de la résolution sensorielle de la peau. Elle est utilisée comme base pour spécifier les caractéristiques d'une stimulation. Cette relation a été mesurée à plusieurs endroits du corps à des fréquences allant de 0,4 à 1000Hz. ((Bolanowski, Gescheide, & Verrillo, 1994). Les résultats sont présentés pour 3 régions du corps souvent utilisées pour l'affichage de signaux tactiles : le bout du doigt, l'avant-bras et l'abdomen. Une sensibilité optimale est obtenue à des fréquences entre 150 et 300Hz pour l'ensemble du corps. Pour des fréquences plus basses ou plus élevées, le déplacement de la peau (amplitude) doit être plus important pour être détecté. L'amplitude nécessaire pour détecter une vibration à toutes les fréquences varie considérablement suivant les endroits du corps. Le seuil de sensibilité le plus bas est celui du bout des doigts : 0.07µm à 200Hz. Le seuil de sensibilité le plus haut est celui de la région abdominale et glutéale : 4-14µm à 200Hz. De nombreux travaux ont étudié le seuil vibrotactile en fonction de la fréquence (Bolanowski et al., 1994), cependant il n'y a que peu d'études sur la discrimination de la fréquence vibrotactile. Cette discrimination est rendue difficile par l'interaction entre la fréquence et l'amplitude. Lorsque l'amplitude des vibrations augmente (à fréquence constante), la fréquence du signal perçu augmente également mais ce taux d'augmentation perçu varie considérablement d'une personne à une autre (Morley & Rowe, 1990). Le seuil de perception le plus bas se trouve sur la peau glabre. La fréquence peut ainsi être utilisée pour coder des informations.

4.2.4.c) La rugosité

Les variations de forme d'onde peuvent être perçues si la complexité de la forme est variée en utilisant par exemple des sinusoïdes à amplitude modulée pour lesquelles l'amplitude a un signal de base (ex : 250Hz) et il est modulé par une seconde sinusoïde (ex : 30 Hz). La modulation d'amplitude peut se faire pour une sinusoïde, un carré, etc. Grâce à cela on peut reproduire la rugosité d'une surface en statique en régulant la fréquence de la seconde sinusoïde. Pour un signal de base à 250Hz, la rugosité augmente en faisant diminuer la fréquence de la seconde sinusoïde de 50 à 20Hz. Ainsi en modulant un signal à 250Hz à différentes fréquences, on arrive à créer des formes d'onde qui varient en rugosité (Brown, Brewster, & Purchase, 2005).

4.2.4.d) L'intensité

L'intensité est ce que l'on ressent du couplage fréquence/amplitude (Jones & Sarter, 2008). Elle dépend essentiellement de l'amplitude. Les changements d'intensité (amplitude) peuvent être utilisés pour transmettre de l'information (ex : prévenir de la proximité d'un véhicule). Pour des intensités de vibration modérées à fortes, le seuil le plus petit estimé est entre 5 et 30% (en fonction des personnes) et la moyenne est à 16% (Craig & Sherrick, 1982). Les changements d'intensité à fréquence constante n'influencent pas seulement l'amplitude perçue du signal, mais aussi la fréquence perçue. Il serait donc conseillé de faire varier une seule de ces variables (amplitude ou fréquence) quand on veut communiquer avec la peau.

La combinaison de fréquence/amplitude jugée comme grandeur égale de façon subjective, correspondant à l'intensité a été déterminée pour une gamme de fréquence vibrotactile.

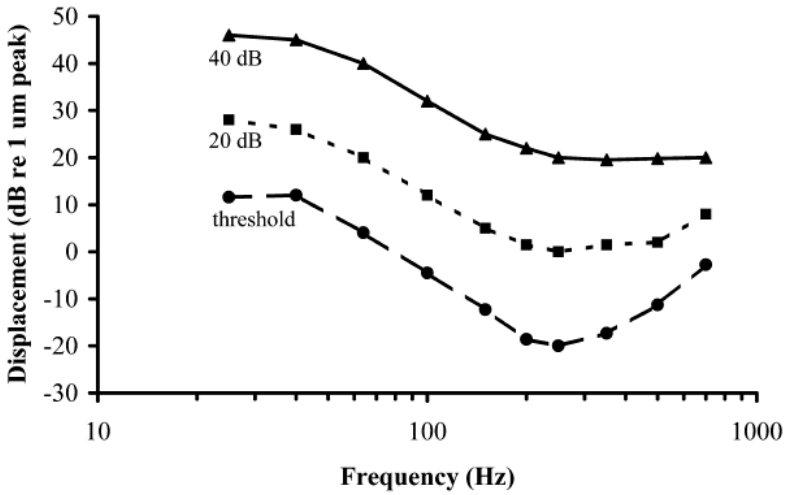


Figure 12. Combinaison pour une sensation égale de grandeur de vibration dérivée des données obtenues par la méthode de la balance à grandeur numérique. Les niveaux de sensation atteints sont le seuil (cercles), à 20 dB (carrés) et à 40 dB (Triangles) jusqu'au seuil pour un signal à 250Hz. (Verillo, Fraioli, & Smith, 1969).

A partir de ces courbes, il est possible de déterminer l'intensité d'une vibration ayant une intensité subjectivement égale mais une fréquence différente. (Cette mise en correspondance n'est valable que si l'information est codée uniquement en termes de fréquence vibrotactile sans combinaison avec d'autres variables). Les seuils absolus et différenciés d'une intensité vibrotactile peuvent être utilisés pour déterminer de combien doit varier l'intensité du stimulus pour qu'une personne détecte un changement avec un dispositif tactile. Gill explique que lors de l'utilisation de ce paramètre pour la conception d'icône vibratoire, l'on ne devrait pas utiliser plus que quatre intensités.

Un stimulus confortable est compris entre 15-20dB au dessus du seuil. Il n'est pas judicieux d'utiliser plus de quatre niveaux différents d'intensité entre le seuil de détection et le seuil de douleur/confort. Les paramètres psycho-physiques indiquent qu'il existe deux moyens d'élargir l'ampleur subjective d'un stimulus : (1) en élargissant l'intensité en prenant des intensités proches du seuil et (2) en agrandissant la zone de simulation.

L'adaptation correspond à un changement dans la perception d'un stimulus prolongé. Cette adaptation entraine une diminution du seuil absolu et de la grandeur subjective. C'est un processus graduel qui prend jusqu'à 25 minutes. L'effet sur le seuil est plus important (jusqu'à 20dB) que sur la grandeur subjective (jusqu'à 7dB). Le temps de récupération est d'environ la moitié du temps d'adaptation et est plus rapide pour la grandeur subjective que pour le seuil absolu. Pour prévenir l'adaptation, la fréquence peut être utilisée en utilisant des fréquences différentes (canaux neurophysiologiques).

4.2.4.e) La variation temporelle / le rythme

La variation temporelle peut aussi être utilisée pour coder les informations présentées.

3 composantes ont été étudiées : (1) la durée du stimulus, (2) le nombre de répétitions des impulsions, (3) le nombre d'impulsions.
Le rythme a un taux de reconnaissance de 90% quand 3 rythmes différents sont utilisés. Le rythme est créé en regroupant des pulsations vibrotactiles de durées différentes et en laissant des écarts entre elles pour créer des motifs (comme en musique la combinaison note et silence). Le rythme est un paramètre avec certaines limites puisqu'il demande d'être joué sur une certaine durée pour être reconnu. Sa saillance peut dominer ou masquer les autres paramètres. (Ternes & MacLean, 2008). Il est préférable d'utiliser une alerte d'une durée de pulsation située entre 50 et 200ms. Un stimulus plus long serait perçu comme ennuyeux. (Kaaresoja & Linjama,, 2005).

Le masquage spatial peut survenir lorsque des stimuli se chevauchent dans le temps. Ainsi le concepteur doit être conscient des effets négatifs de masquage. Le temps entre des signaux consécutifs d'un modèle temporel doit être d'au moins 10ms (Van Erp, Van Veen, Jansen, &

Dobbins, 2005). Une autre façon d'éviter le masquage temporel est de présenter les stimuli à des localisations différentes ou bien en utilisant des canaux neurophysiologiques différents comme les basses et hautes fréquences.

4.2.4.f) Localisation spatiale

Les capteurs distribués dans l'espace peuvent coder des informations suivant la position de stimulation sur le corps. Le choix d'emplacement sur le corps pour l'affichage vibrotactile est important, car des emplacements différents ont des niveaux différents de sensibilité et d'acuité spatiale. Un affichage peut se servir de plusieurs emplacements sur le corps pour que l'emplacement puisse être utilisé comme un autre paramètre. Les doigts sont souvent utilisés pour des affichages vibrotactiles parce que leur haute sensibilité aux petites amplitudes et leur haute acuité spatiale (Craig & Sherrick, 1982) est plus intéressante. Cependant, les doigts sont souvent exigés pour d'autres tâches.

Présenter deux ou plusieurs stimuli dans un modèle spatio-temporel spécifique peut évoquer le mouvement apparent. Le mouvement apparent peut être utilisé pour simuler le mouvement réel. Les paramètres importants sont la durée des salves, (d'une durée minimale de 20 ms) et le temps d'intervalles entre des stimuli consécutifs (ETSI EG, 2002)

Frequency	Intensity	Waveform	Duration	Location
Range: 0.4 – 1.000 Hz. Optimal sensitivity: 150 – 300 Hz [a]	Absolute thresholds across body sites: 0.07 – 14 μm at 200 Hz [c]	Relatively insensitive to waveforms: sinusoidal, triangular, square wave [e]	Burst duration: 80 – 500 ms (typical) Differential thresholds: 7% – 50% [e]	Localization accuracy varies with body site [g]
Body site influences perceived frequency	Changes with increased voltage to a single tactor and with number of tactors activated	Amplitude modulation of sinusoids effective for varying roughness of signals [f]	Pulse repetition rate (create temporal patterns, rhythms)	Inter-tactor spacing and array configuration important
Differential thresholds: 18% – 50% [b]	Differential thresholds: 5% – 30% [d]		Number of pulses: 1 – 5 (typical)	Localization superior near anatomical points of reference (elbow, spine) [g]

[a] Gescheider et al 2002; [b] Goff (1967); Mahns et al (2006); [c] Wilska (1954); [d] Craig (1972); [e] Summers et al (1997); [f] Brown et al (2005); [g] Cholewiak and Collins (2003); Cholewiak et al (2004).

Tableau 3. Récapitulatif des différents paramètres utilisés pour la modalité haptique avec des vibreurs - (MacLean K. , 2008)

Pour les mêmes raisons que pour la vision et l'audition, un stimulus tactile de haute intensité peut causer de l'inconfort allant même jusqu'à une sensation de douleur. Il est important de maintenir efficacement un contact fixe entre la source de stimulation et la peau afin d'obtenir un transfert adéquat d'informations. Il est donc nécessaire de trouver un compromis entre performance et confort pour l'utilisateur (ETSI EG, 2002). L'utilisateur doit être en mesure de pouvoir régler l'intensité du stimulus. Il existe une grande variation pour les seuils de sensation et de douleur entre les différentes personnes ainsi qu'au cours de la vie car l'acuité spatiale se dégrade avec le vieillissement. Ainsi il est préférable que le niveau de simulation soit réglable par l'utilisateur. Pour le port d'interface sur le corps sur des longues périodes, cela doit rester discret et confortable. Le système doit être limité en terme d'émission d'énergie acoustique. Les sorties acoustiques indésirables peuvent être source d'interférence pour les personnes ou l'équipement à proximité de l'utilisateur de l'interface. Il est également nécessaire d'éviter la propagation des vibrations entre les vibreurs. Particulièrement, quand des actionneurs à proximité vibrent à la même fréquence de résonnance. Il existe alors un risque de transmission des vibrations sur les vibreurs non activés.

Les stimuli vibro-tactiles peuvent agacer l'utilisateur, il est important de penser lors de la conception que ces stimuli sont difficiles à ignorer si l'utilisateur ne veut pas les utiliser. Il est important de faire en sorte que le message vibro-tactile soit de préférence auto-explicatif. La plupart des gens ne sont pas familiers avec les motifs tactiles dans le domaine des interactions humain-machine d'où le fait qu'il soit nécessaire que l'interaction soit facilement compréhensible. Pour cela des *vibrocons* peuvent être utilisées (Van Erp, Van Veen, Jansen, & Dobbins, 2005). Cela signifie également que les utilisateurs n'expérimenteront pas les messages tactiles en continu et ont par ailleurs peu d'occasions d'apprendre à connaître la signification de messages tactiles à la différence de symboles visuels (feu rouge, panneaux, etc.).

Il faudra garder à l'esprit que l'expérience tactile doit être ancrée dans le monde réel. Les messages tactiles complexes doivent de préférence être composés de composants significatifs connus. Il faut également souligner que combiner différents signaux vibro-tactiles peut altérer la perception, par exemple la somme de deux ondes qui ne sont pas en phase.

4.2.5. Evaluation de l'interaction haptique

Nous avons récapitulé différents critères qu'il est possible d'évaluer lorsqu'on s'intéresse à l'interaction haptique (Chan, MacLean, & McGrenere, 2008 ; Oulasvirta, Tamminen, Roto, & Kuorelahti, 2005) :

Evaluation de l'interaction haptique		
Nature de l'évaluation	*Critères à évaluer*	*Précisions*
Performance	Temps de reconnaissance	Intuitivité
	Temps d'apprentissage	
	Temps de détection	
	Détection manquée	
	Temps d'identification	
	Identification correcte/incorrecte	
	Double-tache	Performance dans une tâche distractive
Complexité des motifs	Comparaison du nombre de paramètres utilisés pour ces motifs	
Qualitative	Acceptabilité	
Comparaison *in vivo* des associations	Combinaisons avec différentes modalités	
Association intuitive	Facilité d'association du stimulus avec la signification cible	
Discrimination des messages	Saillance individuelle des stimuli	Discrimination urgent/non-urgent
	Distinction des items au sein d'un ensemble	
	Maintien du niveau de saillance malgré distracteur	Distracteur visuel, auditif
Validation d'une interaction mobile	Nécessité de valider une interaction mobile en mobilité	
Utilisabilité	Evaluation comparative de l'utilisabilité	Comparaison entre un émulateur de téléphone portable (TP), d'un TP en laboratoire, d'un TP *in vivo*
Critères d'évaluation propres à une IHM		
Elément propre à l'interface	Occurrence des interactions	
	Temps passés à l'interaction	
Elément lié à l'action	Nature de l'interaction	
	Allure du déplacement	
Eléments liés à l'utilisateur	Vigilance/concentration de l'utilisateur	
	Distractibilité de l'utilisateur	Gestion de la doubles-tâches
Eléments liés au contexte	Lieu de l'interaction	
	Contexte distrayant	

5. L'ergonome co-concepteur d'un produit innovant

5.1. Intervention en ergonomie pour un projet de conception innovant

Selon Couix, Darses, & De-La-Garza, (2012), la contribution de l'ergonome au processus de conception s'appuie sur deux types de connaissances. D'une part, ses connaissances peuvent être issues de l'analyse de situations d'activité sur le terrain. D'autre part, elles s'appuient aussi sur l'expertise propre de l'ergonome, à partir de normes et de recommandations pour la conception issues des retours d'expérience. Cette dualité se retrouve dans la structure du processus de conception centrée utilisateur (Bevan, 2001). L'ergonome contribue au processus en générant des connaissances sur l'activité actuelle et future des usagers mais aussi en participant à la définition de solutions de conception et à leur évaluation.

L'ergonomie de correction et l'ergonomie de conception partagent donc un prérequis : le concept de produit doit être assez bien spécifié pour définir un cadre pour l'analyse de l'activité des usagers. En particulier, ce concept doit contenir une référence claire à une activité future, et être décrit sous une forme suffisamment détaillée pour permettre la fabrication d'un objet intermédiaire ou d'un objet final de la conception. Dans un travail récent (Nelson, Buisine, & Aoussat, 2012), nous avons pu montrer que ces deux conditions n'étaient pas toujours vérifiées dans le cas de projets de conception innovante. C'est ici qu'intervient l'ergonomie prospective. L'anticipation de besoins et d'activités futurs doit permettre aux concepteurs de produire des connaissances et des hypothèses sur de nouveaux concepts de produits et de nouveaux usages, afin de permettre de sélectionner les concepts les plus intéressants et de lancer de nouveaux projets de conception innovante.

L'ergonomie prospective a fait l'objet de nombreux travaux récents en ergonomie (Robert & Brangier, 2009; Nelson, et al., 2012; Brangier & Robert, 2014). Elle est définie comme « la partie de l'ergonomie qui tente d'anticiper les besoins et activités humaines afin de créer de nouveaux artefacts qui seront utiles et fourniront une expérience utilisateur positive ». L'objet de l'intervention (artefact, situation) n'est pas encore déterminé. Il peut y avoir des idées mais elles ne sont pas encore matérialisées ; toutes les modifications sont encore possibles. L'objet doit par ailleurs respecter le critère de nouveauté lié à l'invention : si ce n'est pas le cas, on est dans le cas précédent d'Ergonomie de conception. L'Ergonomie prospective est un cas particulier d'ergonomie de l'innovation dans lequel l'ergonome est chef de projet et est à l'initiative de l'innovation. Elle marque une évolution de la discipline vis-à-vis de ses modalités d'intervention classique, que sont d'une part la correction de dispositifs existants, et d'autre part l'optimisation des choix opérés au fil du processus de conception.

5.2. Une démarche où l'ergonome est leader de la conception

5.2.1. Place de l'activité dans la conception

En ergonomie, la finalité des projets de conception s'attache moins à la définition des caractéristiques des artefacts qu'à celles des situations dans lesquelles ces artefacts sont présents. La conception de la situation dans laquelle se déroule l'activité porte sur la définition des différentes composantes et des liens entre elles, afin de permettre le déploiement d'une activité efficace et préservant la santé des personnes.

Nous assistons depuis quelques années à un retournement dans la relation classiquement entretenue entre ergonomes et concepteurs : l'ergonome ne se contente plus d'alimenter par des recommandations des processus de conception d'artefacts maîtrisés par les seuls concepteurs mais doit au contraire contribuer à la mise en place d'une démarche globale et structurante (Pinsky,

1992) de façon à passer d'un projet conduit par la technique à une conduite de projet centrée sur l'activité actuelle et future.

Cette approche s'appuie sur une analyse de l'activité (portée par les ergonomes) et du projet, la mise en place d'une démarche structurée, participative et concertée (favorisée par les ergonomes), la conduite de simulation de l'activité permettant de se projeter dans l'activité future probable (outillée et animée par les ergonomes), la formalisation des résultats des simulations en direction des acteurs du projets (réalisée par les ergonomes en collaboration avec les acteurs du projet) et l'accompagnement du projet (conduit par les ergonomes). Dans un projet de conception pour un dispositif grand public, les acteurs devant impérativement être impliqués dans cette démarche de conception participative sont les décideurs, les utilisateurs et les concepteurs.

5.2.2. De l'analyse des besoins aux spécifications fonctionnelles

La phase d'analyse permet de construire des connaissances sur le projet et l'activité concernée ; elle va permettre de définir les enjeux du projet et permet de poser un diagnostic de projet afin de contribuer à la structuration et à la redéfinition des objets de ce dernier. L'analyse ergonomique de l'activité est le premier pas de la démarche de conduite de projet. L'objectif est de produire des connaissances liées à l'activité qui seront utiles à l'instruction des choix du projet et à la poursuite de la démarche. L'analyse de l'activité est conduite dans toute situation, dite de référence, ayant des déterminants (techniques, organisationnels, sociaux) pertinents au regard de la situation initiale, ou de la situation future. Cette analyse permet la production de connaissances sur l'activité, nécessaires à la poursuite de la démarche. Cela va permettre de formaliser des repères éclairant l'élaboration de premières solutions de conception (Daniellou, 2004), qui sont les scénarii de prescription ; et ensuite des scénarii d'action qui seront « joués » lors des simulations.

L'analyse des besoins doit permettre de mettre en lumière trois éléments distincts : les caractéristiques organisationnelles, techniques ou physiques des situations (Daniellou, 2004), les éléments structurants de l'activité des utilisateurs et les caractéristiques physiques et cognitives des futurs utilisateurs. L'ergonome peut également extrapoler des besoins à partir des connaissances scientifiques issues de la littérature en ergonomie sur des situations analogues à la situation envisagée ou bien sur le fonctionnement général de l'humain en activité finalisée.

5.2.2.a) Traduction des besoins en fonctions

Ensuite, les besoins vont devoir être traduits en fonction. Il existe deux principales catégories de fonctions : les fonctions relatives à l'utilisation du produit et les fonctions techniques. Les fonctions techniques décrivent les interactions entre les composants du produit et permettent d'assurer les fonctions relatives à l'utilisation (Couix, 2012). En ingénierie système, les besoins doivent être traduits en terme d'exigences que le système doit satisfaire Chapanis (1996) et (Maguire, 2001) définissent les exigences selon cinq dimensions distinctes d'un système :

- les exigences physiques qui décrivent le système, son architecture, sa forme, sa taille, ses constituants.
- les exigences fonctionnelles qui évoquent ce que le système doit et permet de faire aux utilisateurs.
- les exigences opérationnelles qui décrivent les conditions d'opérabilités du système (performance, fiabilité, précision, etc.) qui vont influencer l'usage du système et ou/son contexte d'utilisation.
- les exigences d'interaction qui décrivent la manière dont les utilisateurs vont interagir avec le futur système.
- les exigences organisationnelles

L'artefact en conception est le système dans sa globalité.

5.2.2.b) Spécifications des fonctions

Les spécifications de conception sont la forme la plus concrète de description du système ou du produit. Il s'agit de décrire de manière détaillée le système répondant aux exigences, en précisant ces dernières et en décrivant le fonctionnement du système.

Les spécifications ne représentent qu'une des réponses possibles aux exigences et aux besoins. Satisfaire l'ensemble des exigences n'est pas forcément réalisable et va dépendre des ressources allouées au projet ainsi que des possibilités techniques (Wulff, Westgaard, & Rasmussen, 1994). Les spécifications sont le résultat d'un compromis entre l'espace des besoins et des exigences d'un côté et l'espace des possibles de l'autre (Couix, 2012).

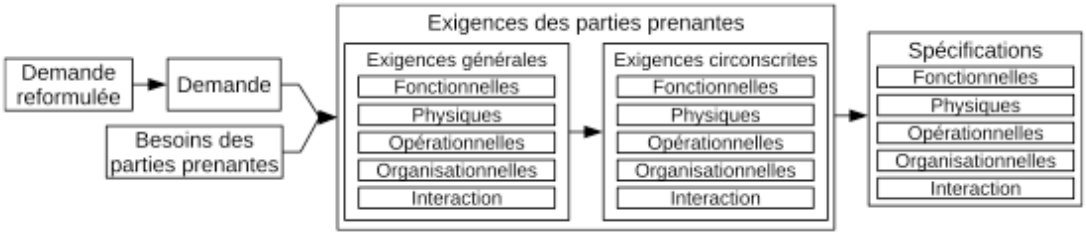


Figure 13. Processus d'analyse des besoins jusqu'aux spécifications fonctionnelles (Couix, 2012)

La phase de simulation vise à évaluer et enrichir les propositions des concepteurs. La simulation peut se dérouler selon deux modalités principales (Daniellou, 2007) : soit grandeur nature en utilisant par exemple un prototype. Les utilisateurs peuvent alors éprouver dans leur corps les améliorations apportées (ou pas) par la nouvelle solution, soit par un support de simulation réduit (par exemple une maquette). La simulation nourrit le dialogue entre utilisateurs et prescripteurs et autorise l'élaboration de solutions de conception négociées, de compromis, dont l'expérience montre qu'ils sont parfois innovants. La simulation est donc au cœur de la démarche ergonomique de conception. Elle vise à faire jouer l'activité future probable à des utilisateurs sur la base de scénarios de prescription proposés par les concepteurs et de scénarios d'action issus de l'analyse de situations existantes. Ces scénarios permettent de révéler de façon précoce les lacunes qui pourraient conduire à des difficultés de fonctionnement ultérieures, évitables par des modifications du scénario de prescription. Cela permet aussi de mieux s'approprier les principes de prescription s'avérant pertinents. La simulation va donc permettre de mettre à l'épreuve les modalités de cette appropriation.

5.3. Concevoir un système accepté

5.3.1. Concevoir pour l'activité médiée

Pour contribuer efficacement à la conception de dispositifs techniques, nous avons besoin de mieux caractériser ce qui permet réellement une médiation. En accord avec les théories de l'activité, l'instrument devrait pouvoir être appréhendé comme une réalité psychologique et sociale et rendre compte de processus développementaux. L'introduction d'un artefact dans une situation donnée permet au mieux de résoudre d'anciens problèmes, mais change la nature de la tâche, créés de nouveaux problèmes, pour lesquelles de nouveaux instruments sont nécessaires, etc. Durant ce processus, l'utilisateur passe d'un statut de novice à un statut d'expert et simultanément peut adapter, modifier transitoirement ou de manière plus durable les artefacts et leur environnement pour tenter de résoudre les problèmes inattendus ou nouveaux qu'ils rencontrent dans l'action. Nous avons donc besoin de rendre compte de l'inventivité que les utilisateurs mettent en œuvre dans leur activité (Béguin & Rabardel, 2000). Le processus développemental peut être regardé de deux points de vue, celui du développement des artefacts ou celui du développement des besoins et des projets des individus. Lorsqu'on adopte une approche « techno-centrée », la technique est première et on ne retient de l'activité uniquement ce qui est pertinent au regard des problèmes techniques. L'approche anthropocentrée ceux sont les activités psychologiques et sociales qui sont au premier plan. Ces deux points de vues ne sont pas contradictoires mais doivent être articulés pour pouvoir innover. Cependant le point de vue techno-centré est actuellement très dominant dans les processus de conception et l'activité des utilisateurs n'est qu'un aspect résiduel (Béguin & Rabardel, 2000)

5.3.1.a) Concevoir à partir des schèmes d'utilisation : conception pour l'usage et conception dans l'usage

Si on observe la relation homme-machine en les examinant en tant que modèle opérant pour l'ergonomie, les approches IHM et système H-M partagent la préoccupation de décrire et formaliser le fonctionnement humain du point de vue de ses capacités et limites, physiologiques, cognitives, en vue d'une meilleure adaptation des systèmes techniques à l'homme (Folcher & Rabardel, 2004). Les approches de l'activité médiatisée privilégient l'activité située et s'attachent à identifier les invariants d'activité que développent les sujets dans les classes de situations et les domaines de leurs activités, le rôle des artefacts pour l'action, le développement des ressources pour l'activité et pour les sujets eux-mêmes.

La conception dans l'usage qui vise l'inscription de l'artefact dans l'activité des utilisateurs suppose aussi, nécessairement, l'inscription dans l'activité des concepteurs eux-mêmes. Le rôle de l'ergonome est de rendre possible et efficace cette double inscription. Tout ceci appelle des modalités nouvelles d'organisation et de conduite des processus de conception portés par des collectifs congruents avec la distribution des contributions, dans l'usage et dans les institutions, et supportés par des méthodologies de conception ergonomique renouvelées.

Un des enjeux majeurs pour le développement de méthodologies de conception anthropocentrée est de trouver des solutions opérationnelles à la rencontre et à la fécondation réciproque des processus de conception dans l'usage – par les utilisateurs – par les concepteurs (Folcher & Rabardel, 2004). Les apports à la conception de l'approche de l'activité médiatisée par les instruments ont été développés par ailleurs. Voici les principes :

- organiser le processus de conception autour de schèmes sociaux d'utilisation disponibles dans la société ou la collectivité destinataire de l'artefact.
- concevoir des artefacts pour qu'ils facilitent la poursuite du processus de conception dans l'usage, le développement de genèse instrumentale ;
- s'inspirer des instruments issus des genèses instrumentales développées par les utilisateurs ; développer des processus de conception participative autour de genèses instrumentales.

La conception d'artefacts anthropocentrés ne signifie pas que l'on doit adhérer sans restriction à ce qu'est ou ce que souhaite l'utilisateur à un moment donné. Elle peut aussi tout en restant centrée sur l'homme, introduire des ruptures dans les schèmes et les instruments déjà développés et maîtrisés par les utilisateurs. Les ruptures comme les continuités doivent être choisies, explicitées et le processus de conception doit viser à la création d'espace de possibles au sein desquels l'activité des utilisateurs peut se déployer.

Les caractéristiques des schèmes sont les suivantes (Béguin & Rabardel, 2000) :

- Les schèmes sont assimilateurs : ils peuvent s'appliquer à plusieurs types d'artefacts. Il peut y avoir échec ou réussite de l'assimilation des artefacts par le schème de l'activité étudiée déjà constitué.

- Les schèmes sont accommodateurs : ils peuvent se transformer lorsque la situation change. Ces accommodations sont à la source de différenciations progressives de l'usage. Par exemple se déplacer avec un smartphone entraine une modification du schème avec des temporalité différentes pour préparer son trajet par exemple.

- Les schèmes d'utilisation ont à la fois une dimension privée (propre à chaque individu) et une dimension sociale (schème largement répandu dans un groupe social). L'individu ; les utilisateurs et les concepteurs d'artefact contribuent à l'émergence de schèmes.

- Les schèmes font l'objet de transmission de façon plus ou moins formalisée : depuis les renseignements transmis d'un utilisateur à l'autre jusqu'aux formations structurées (système technique complexe) en passant par les différents types d'aide à l'utilisateur (notice, mode d'emploi, etc.). On parle donc de schèmes sociaux d'utilisation. C'est ce caractère social des schèmes d'utilisation qui rend possible l'invention et la diffusion d'artefacts au sein d'une même collectivité, et qui rend interchangeables les artefacts appartenant à une même classe.

Au moment de l'évaluation ou de l'introduction de l'artefact, l'analyse des processus d'assimilation et d'accommodation est particulièrement importante. L'accommodation et l'assimilation sont des processus longs et difficiles, voir impossibles. Il est nécessaire de prendre appui de façon pro-active

(avant les spécifications) sur l'analyse des schèmes sociaux. Mais, cela ne s'oppose-t-il pas à l'innovation ? Le fait d'organiser le processus de conception autour des usages qui préexistent à l'invention peut être perçu comme une position qui s'oppose à la nouveauté. Or, il n'en est rien, car à partir des schèmes sociaux n'est pas opposé à la nouveauté. Il s'agit en revanche d'une position anthropocentrée, où les développements créateurs sont mis au service des besoins des utilisateurs.

5.3.1.b) Concevoir pour promouvoir la genèse instrumentale

Un des points central de notre conceptualisation des instruments est que la créativité et l'inventivité des opérateurs constitue une caractéristique ontologique des processus de conception (et non l'indice d'un détournement par les usagers ou un déficit des spécifications réalisées par les concepteurs). La créativité peut être dans certains cas, une propriété émergente de l'usage, qui trouve son origine dans l'activité et dans la mise en œuvre du système, et qui peut se dérouler sur des périodes longues. Or l'approche classique de l'ingénierie consiste à appréhender la conception comme un changement d'état. Cette approche constitue clairement une difficulté puisque les milieux de vie et de travail sont des systèmes dynamiques. Nous pensons que la conception doit être appréhendé comme un processus cyclique, d'usage et de recherche de solutions techniques, à l'occasion duquel il faut mettre en résonance l'inventivité des utilisateurs et celle des concepteurs. Plusieurs pistes peuvent être évoquées dans ce contexte.

L'une des solutions est d'intégrer des genèses instrumentales dans le processus de conception afin d'alterner phases de conception institutionnelles et phases de conception dans l'usage. Il est possible d'envisager des co-genèses instrumentales, réalisées conjointement par les utilisateurs et les concepteurs. L'expérimentation de l'artefact dans l'usage, réalisée dans des situations suffisamment significatives et sur des périodes suffisamment longues, met les principes de conception à l'épreuve, révèle les besoins et les problèmes quotidiens des utilisateurs et ouvre sur des potentialités nouvelles. L'organisation du processus de conception gagne donc en efficacité lorsqu'elle alterne conception et usage.

Une autre piste, complémentaire, peut être également suivi. Elle consiste à outiller ces échanges. Il n'existe que très peu de retour d'expérience sur ce point bien qu'il s'agisse d'un axe de recherche important car l'outillage permettrait d'organiser les échanges sur la base d'hypothèse sur les caractéristiques des produits à concevoir et non sur la base de développement déjà très avancés (Bucheanau & Suri, 2000). C'est le cas par exemple dans le prototypage coopératif (cooperative prototyping). Il est donc intéressant de considérer les théories de l'activité avec les systèmes technologiques actuels. Cela s'inscrit dans une perspective médiationnelle et développementale des technologies où il est important d'insister sur la distinction entre artefact (matériel ou symbolique) et instrument.

5.3.2. Concevoir pour l'expérience utilisateur

L'utilisabilité est un critère transversal entre choix techniques et autres facteurs comme les explications apportées, le domaine d'application, etc. Ce critère permet d'appréhender la façon dont l'artefact favorise sa propre exploration, engage l'utilisateur vers la découverte de ce à quoi il sert et la façon dont on s'en sert. L'irruption dans le champ de la recherche technologique (IHM, interaction design) de l'UX via la problématique de l'évaluation de la qualité d'interaction avec des dispositifs technologiques s'est en effet accompagnée d'un intérêt progressif pour le concept d'expérience (Hassenzhal & Tractinsky, 2006; Lenay, Thouvenin, Guénand, Gapenne, Stewart, & Maillet, , 2007; Salembier, 2013).

La capacité n'est pas une propriété de l'individu mais une fonction entre l'individu et tout ce qui l'entoure. Nos capacités physiques, sensorielles, cognitives, émotionnelles et sociales ne sont pas figées, elles changent en permanence et dépendent des contextes et des situations dans lesquelles nous nous trouvons. La conception de l'expérience utilisateur lorsqu'on est en situation de mobilité (dynamique) implique la prise en compte des capacités au regard de la situation, ce qui va concerner tous les utilisateurs à un point précis ou à un autre. Il est donc crucial de comprendre la relation d'interaction entre la personne et la technologie dans différents contextes et situations (Borg, Larsson, & Östergren, 2011). La capacité n'est pas une propriété d'un individu mais une fonction entre l'individu et ce qui l'entoure. Nos capacités physiques, sensorielles, cognitives, émotionnelles et sociales ne sont pas figées, elles changent en permanence en fonction du contexte

et des situations dans lesquelles nous nous trouvons. La conception de l'expérience utilisateur dynamique demande de faire attention aux capacités d'un individu à un point précis dans une situation précise. Il est donc crucial de comprendre la relation d'interaction entre l'individu et la technologie dans différents contextes et situations.

L'ergonomie qui vise à l'amélioration de la performance et du bien-être des personnes lorsqu'elles sont en interaction avec un système, soit-il technique, organisationnel ou autre, s'est jusqu'ici intéressée au bien-être essentiellement dans son rapport avec la santé, notamment à travers la notion de stress (Ponnelle, Vaxevanoglou, & Garcia, 2012). C'est seulement depuis une dizaine d'années que l'on voit émerger une littérature plus variée sur le rôle des affects et émotions dans l'usage des systèmes, leur évaluation, leur conception.

Puis il y a eu une ouverture aux notions de « satisfaction » comme étant un critère d'utilisabilité d'un outil ou service de « plaisir/déplaisir » dans l'usage et autres considérations du rapport affectif aux produits et services (Helander & Khalid, 2006).

Nielsen, (1994), adopte une méthodologie surtout centrée sur l'usage réel et s'arrête très peu sur l'activité déployée par l'utilisateur et sur les propriétés du dispositif qui génèrent telle ou telle satisfaction/insatisfaction (Cahours & Lancry, 2011). Globalement, ces approches ne sont pas intégrées dans une théorie plus globale de l'activité considérant le ressenti émotionnel. Il y un manque notamment pour les liens entre émotion et cognition et plus largement entre émotions et activités. Les émotions ont une fonction d'impulsion à l'agissement, elles orientent ou ré-orientent ce que le sujet est prêt à mettre en œuvre et il va y avoir une congruence entre état émotionnel et le jugement, le rappel et la perception. Le confort émotionnel se définit comme un sentiment qui se construit à partir des états affectifs vécus (émotions, sentiments...) en particulier dans des situations d'usage de technologies. L'utilisateur est non seulement rationnel et efficace mais il s'inscrit aussi dans des désirs, des sensibilités, une histoire, et qui, de par ces différents ancrages, rejettera ou s'appropriera tel instrument et pas tel autre. Le confort/inconfort émotionnel peut être d'origine cognitive ou socio-relationnelle, mais il reste de nature affective. L'inconfort se traduit par des sensations et émotions désagréables comme la gêne, l'anxiété, la crainte, l'énervement. Mais il est parfois plus latent et engendre de façon consciente uniquement un vague sentiment de ne pas avoir envie de réutiliser cette technologie. Identifier les sources d'inconfort dans l'activité et l'usage (que l'on entend comme une activité instrumentée) va nous intéresser particulièrement : situer ce qui provoque les sentiments et émotions négatifs qui rendent cette situation pénible, désagréable, voire insupportable = sources d'inconfort. Les états affectifs verbalisés par les sujets ont été relevés et associés aux situations précises dans lesquelles ils se trouvaient. Cela permet d'identifier, ce qui, pendant l'activité du sujet, générerait de l'inconfort.

5.3.3. Concevoir pour l'appropriation

Comment orienter et évaluer la conception pour rendre probable et/ou faciliter l'appropriation ? Quels critères vont nous aider à orienter la conception pour favoriser l'appropriation ? Et quelles relations entre ces critères ?

Dans le cadre de développement de nouveaux produits, un produit appropriable suppose quand on l'introduit, une transformation des usages et l'émergence de nouvelles pratiques (Haué, 2004). Theureau, (2005), discute la nécessité d'appréhender la conception ergonomique en termes d' appropriabilité de la technique. Ils posent la question de quels sont les mécanismes par lesquels les objets techniques nous deviennent familiers. Cela correspond au déplacement des perspectives théoriques d'approches centrées sur les techniques et leurs effets, à des approches anthropocentrées (Rabardel, 1995).

L'appropriation s'inscrit dans un rapport de médiation que les hommes instaurent avec leurs environnements. Dourish, (2004) propose la définition suivante : s'approprier un instrument ce n'est pas seulement « se familiariser avec » et le rendre propre à « l'usage » en général, mais c'est en faire quelque chose de « sien ». C'est le processus par lequel les utilisateurs réinventent les techniques qu'ils utilisent. L'utilisateur construit une relation avec l'instrument en s'engageant d'un point de vue physique et émotionnel vis-à-vis de la technique.

III. PROBLEMATIQUE

Cette thèse vise à étudier les bénéfices et les limites de la modalité haptique utilisée comme moyen d'interaction entre un piéton et un système d'aide au déplacement en environnement urbain.

Cependant, il serait réducteur de restreindre notre étude au seul usage de la modalité haptique. Car, comme le rappelle (Chapanis, 1996) tout outil doit être conçu en prenant en considération toutes les dimensions qui le composent :

- sa dimension fonctionnelle, qui correspond à ce que l'utilisateur réalise avec le dispositif.

- sa dimension non fonctionnelle, qui comprend l'interaction (la manière dont l'utilisateur va interagir avec la machine), mais aussi, les aspects opérationnel (performances du système en terme d'efficacité, de fiabilité, etc.), physique (composants du système, leurs relations, leurs tailles, leurs formes, etc.), organisationnels, ainsi que ceux liés à l'expérience utilisateur.

Les moyens d'interaction ne sont donc qu'un aspect du futur système et nous ne pouvons faire abstraction des autres dimensions du système. C'est pourquoi nous envisagerons d'étudier l'activité de déplacement piéton urbain, telle qu'elle se réalise dans un environnement réel. Cette thèse s'inscrit dans le champ de la psychologie ergonomique. Outre ses apports théoriques et méthodologiques, elle contribuera à optimiser les systèmes humain-machine d'aide au déplacement dans le sens de l'efficacité et du confort de l'utilisateur.

Considérant les éléments rapportés dans l'état de l'art, nous avons choisi de structurer notre démarche autour de trois questions de recherche que nous développerons ci-dessous :

- En quoi consiste l'activité de déplacement des piétons en environnement urbain, réalisée avec les outils d'aide existants ?
- Comment concevoir un système d'aide dont les fonctions haptiques aient du sens pour l'activité ?
- Quel est l'apport de la modalité haptique pour soutenir l'activité de déplacement piéton urbain ?

1. En quoi consiste l'activité de déplacement des piétons en environnement urbain réalisée avec les outils d'aide existants ?

Très peu d'études ont pris en compte le déplacement des piétons en transport en commun et en environnement urbain dans leur globalité. La plupart des études sur l'activité de déplacement des piétons (navigation) s'intéressent, soit au déplacement piéton en extérieur, soit au déplacement du voyageur en transports en commun. Pour ce qui concerne les recherches en psychologie cognitive, elles visent essentiellement à comparer l'impact d'outils d'aide au déplacement (par exemple description d'itinéraire par un tiers, carte), mais elles donnent peu de place à l'étude des contraintes de l'activité de déplacement en situation réelle.

L'approche ergonomique que nous adoptons va permette d'analyser l'activité de déplacement comme une activité située et instrumentée. Ceci implique une prise en compte des différentes composantes d'une situation et en particulier des interactions liées au contexte (Verillon & Rabardel, 1995). L'un des aspects novateurs de notre étude est d'analyser le déplacement piéton urbain en situation réelle. Pour cela, nous devrons répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les situations posant le plus de difficultés lors du déplacement piéton urbain ?
- Quelles sont les différentes activités cognitives mises en œuvre lors du déplacement ?
- Comment les actuels outils d'aide soutiennent-ils ces activités et quelles fonctions d'aide à doit-on privilégier pour concevoir un système innovant ?
- Quel est l'impact des outils d'information fondés sur la modalité visuelle sur la réalisation des activités mises en œuvre lors du déplacement ?

L'étude de la navigation humaine et des processus cognitifs qui sont mobilisés lors de l'activité de déplacement constituera la première partie empirique de notre travail. On en tirera des invariants (déterminants de l'activité, ressources et contraintes, fonctions centrales de la navigation, etc.) qui constitueront une activité de référence et qui formeront la base de notre projet de conception.

2. Comment concevoir un système d'aide dont les fonctions haptiques ont du sens pour l'activité ?

Les évolutions de la technologie permettent aujourd'hui de concevoir des aides techniques utilisant la modalité haptique comme moyen d'interaction entre l'humain et le système. Cependant, cette modalité est peu exploitée car le langage d'interaction développé est souvent difficile à comprendre, apprendre et mémoriser ce qui le rend peu accepté par les utilisateurs (Heikkinen, 2009).

En ingénierie de l'interaction humain-machine (IHM), les études portant sur la conception de dispositif haptique d'aide au déplacement présentent souvent des méthodologies de conception dans lesquelles le langage d'interaction est défini de façon arbitraire, ou imposé d'emblée par la technologie existante. Celle-ci oriente alors tout l processus de conception et contraint la manière d'interagir avec le dispositif. Les interactions qui en découlent peuvent se révéler peu adaptées à l'activité de l'utilisateur, à ses caractéristiques et au contexte d'usage.

Pour ce qui concerne les recherches qui sont menées sur la modalité sensorielle haptique en psychologie expérimentale, en psychophysique et en psychologie cognitive, on constate qu'elles se restreignent à l'étude des phénomènes perceptifs et mnémoniques. Si ces études fournissent des connaissances sur la modalité haptique, elles n'abordent pas la problématique de la conception de l'interaction avec le dispositif, dans le cadre de l'activité réelle de l'utilisateur. Les critères de conception qui concernent les interfaces haptiques, tels que ceux recensés dans la norme ISO 9241-920 (*Ergonomie de l'interaction homme-système)* ne sont pas suffisants. Sans démarche de conception, cela ne permet pas d'articuler ces critères entre eux en vue de la conception. Pour cela, il est nécessaire de mettre en place une démarche conception orientée par l'activité afin de concevoir un outil cohérent et adapté à l'activité.

Nous avons voulu adopter une approche qui se démarque de ces façons de concevoir l'interaction haptique : nous avons choisi de placer l'utilisateur au cœur de la conception de l'interaction. Notre démarche est basée sur l'étude de l'activité de navigation, de façon à ancrer ce projet de conception innovante sur des données issues de situations réelles. En outre, notre démarche est fondée sur un travail participatif qui implique un partenariat entre l'équipe de conception et les futurs utilisateurs du dispositif.

Nous pensons que cette approche est de nature à développer un langage d'interaction haptique et un dispositif adaptés à l'activité et ayant du sens pour l'utilisateur. Nous exposerons, dans une seconde partie empirique, comment nous l'avons développée et mise en œuvre, en étroite collaboration pluridisciplinaire avec les métiers de l'ingénierie. L'aboutissement de cette seconde partie empirique est la conception de la signification haptique des fonctions d'aide au déplacement qui seront offertes par le dispositif.

3. Quel est l'apport de la modalité haptique au soutien de l'activité de déplacement piéton urbain ?

Si l'introduction de la modalité sensorielle haptique comme moyen d'interaction d'un dispositif d'aide au déplacement semble judicieuse, en particulier en raison de ses propriétés non intrusives

qui permettent d'attirer l'attention et de donner des informations de guidage (Spence & Ho, 2008), elle nécessite cependant d'être précautionneusement évaluée, du point de vue de son utilité et de son utilisabilité. Nous devrons donc, dans une troisième et dernière partie empirique, évaluer les points suivants :

- En quoi la modalité haptique peut-elle soutenir l'activité de déplacement ?
- Parmi toutes les activités mises en œuvre lors du déplacement, quelles sont celles qui méritent d'être soutenues par un dispositif haptique ?
- L'utilisation d'un dispositif d'aide à modalité haptique peut-elle améliorer la performance de l'activité de déplacement ?
- Quelle serait l'acceptabilité d'un dispositif à modalité haptique comme outil d'aide au déplacement ?

Pour répondre à ces questions, nous mettrons en œuvre une méthodologie d'évaluation du prototype haptique qui a été conçu au cours de notre étude, sur la base de données recueillies au cours d'un parcours urbain mêlant transports ferrés et déplacements piétons. Nous identifierons les points forts et les points faibles de l'utilisation d'un dispositif fondé sur l'haptique.

4. Synthèse de la démarche de recherche

Notre démarche de recherche se décline en trois parties empiriques, guidées par des objectifs relatifs aux questions exposées dans les sections précédentes et mobilisant des méthodes spécifiques. Le Tableau 4, reprend de façon synthétique les objectifs, méthodes et résultats attendus des trois parties empiriques menées dans le cadre de la thèse.

Partie empirique	Objectifs	Méthodologie	Résultats attendus
1	Analyser l'activité de référence : le déplacement piéton urbain	Analyse de l'activité sur la base d'un scénario de déplacement (32 participants)	- Déterminants de l'activité - Difficultés avec les ressources utilisées - Incidence de la consultation visuelle sur les performances de l'activité - Fonctions d'aide au déplacement pour un dispositif d'aide futur - Identification des fonctions pour lesquelles la modalité d'interaction haptique peut être pertinente
2	Concevoir la signification haptique des fonctions d'aide au déplacement à destination du grand public	Démarche de conception participative basée sur l'utilisation de métaphores (273 participants)	- Spécifications d'un langage d'interaction pour l'activité ayant du sens pour l'utilisateur - Connaissances sur l'utilisation de l'haptique comme modalité d'interaction en mobilité
3	Evaluer les fonctions haptiques d'un dispositif d'aide au déplacement piéton urbain	Analyse d'activité sur la base d'un scénario de déplacement (24 participants)	- Apports de la modalité haptique pour le soutien des différentes activités mises en œuvre pendant le déplacement en terme de performance et en terme de confort pour l'utilisateur - Pistes d'améliorations et d'innovation pour le système

Tableau 4. Récapitulatif des objectifs, méthodes et résultats attendus des études empiriques

- La première partie empirique (chapitre IV) vise à analyser l'activité de déplacement piéton urbain, telle qu'elle est réalisée avec les outils d'aide actuels. Cela va permettre de définir les exigences fonctionnelles d'un futur système d'aide à l'activité. Cette partie va également permettre d'indiquer les exigences interactionnelles relatives à l'utilisation de la modalité sensorielle haptique.
- La seconde partie empirique (chapitre V) vise à concevoir l'interaction haptique à partir des exigences identifiées précédemment à travers une démarche de conception participative impliquant l'équipe de concepteurs et des utilisateurs futurs.
- La troisième partie empirique (chapitre VI) vise à évaluer l'apport de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement à travers une analyse de l'activité en environnement réel, permettant de comparer deux groupes de participants avec et sans système haptique d'aide au déplacement.

IV. PARTIE EMPIRIQUE n°1. Analyse de l'activité de déplacement piéton urbain

1. Contexte et objectifs

De nombreuses études sur l'activité de déplacement piéton ont permis de recenser les besoins en information ressentis par les usagers pour mener à bien cette activité. La plupart de ces études se sont intéressées à différents outils, en examinant leur usage dans des conditions expérimentales imposées. Pour concevoir un dispositif d'aide véritablement adapté, il est nécessaire d'étudier les usages des différents outils de façon « écologique », c'est-à-dire en conditions réellement rencontrées par les utilisateurs. Cela est particulièrement important pour recueillir de nouvelles connaissances sur l'utilisation du smartphone au cours de l'activité de déplacement. Il est nécessaire de penser la conception d'un outil d'aide en continuité ou en rupture par rapport aux schèmes existants. Il convient de structurer l'artefact en fonction de classes de situations significatives de l'activité de déplacement piéton urbain et de prendre en compte les différences inter-individuelles dans la constitution de l'usage. Cela va permettre de déterminer les fonctions d'aide pertinentes pour le soutien de l'activité.

Cette première partie empirique a pour but d'identifier les besoins des utilisateurs afin de contribuer à définir un espace de conception pour un dispositif d'aide adapté à l'activité de déplacement piéton urbain. Cet espace de conception va permettre de déterminer les leviers potentiels d'innovation et de guider les choix de conception. La démarche ergonomique mise en place permet de s'affranchir des besoins « supposés » des utilisateurs et d'identifier des besoins « avérés », repérés sur la base d'une analyse des activités réellement opérées par les utilisateurs.

Cette partie empirique comprend deux études. Tout d'abord, une étude exploratoire permettant d'analyser les besoins conscients des utilisateurs, tels qu'ils les expriment à travers un groupe de discussion. Ensuite, une étude de l'activité de déplacement s'appuyant sur l'observation d'un trajet-scénario, élaboré dans l'objectif de détecter les besoins latents, non exprimés lors de l'étude exploratoire.

Les objectifs poursuivis, les méthodes utilisées et les résultats attendus pour ces études sont présentés dans le Tableau 5 suivant :

	Objectifs	**Méthodes**	**Résultats**
Etude exploratoire	- Recenser les difficultés au cours du déplacement piéton urbain. - Recueillir les besoins en information ressentis consciemment lors de la réalisation de l'activité.	Groupe de discussion 10 participants	- Mise en évidence de situations critiques du déplacement pour l'élaboration d'un scénario de déplacement pour l'étude de l'activité de référence (étude 2). -Pistes d'innovation pour la conception
Etude de l'activité de référence	- Identifier les stratégies de prises d'information lors de la préparation d'itinéraire - Caractériser la consultation d'information en fonction : des activités cognitives élémentaires concernées, de la zone de déplacement et des outils d'aide utilisés - Déterminer l'efficacité de la consultation d'information visuelle au cours de l'activité	Analyse de l'activité à travers un scénario de déplacement en environnement réel 22 participants impact de deux facteurs : - profil utilisateur - utilisation ou non de smartphone	- Définition des fonctions d'aide du dispositif - Spécification de la modalité sensorielle à privilégier pour chaque fonction - Définition de critères de performance permettant de déterminer dans la suite de la démarche l'apport de la modalité haptique pour assister cette activité

Tableau 5. Récapitulatif des objectifs, méthodes et résultats attendus pour la partie empirique n°1

2. Etude exploratoire

2.1. Objectifs

L'objectif premier de cette étude exploratoire est de recenser les difficultés rencontrées par des utilisateurs au cours de leurs déplacements piétons urbains et de recueillir les différents besoins en information qu'ils ont ressentis de façon consciente tout au long de la réalisation de cette activité. Ainsi, cette première étude doit permettre de mettre en lumière les situations critiques rencontrées lors de la réalisation de l'activité. Les caractéristiques de ces situations critiques seront ensuite utilisées pour la construction d'un scénario de déplacement qui sera élaboré pour l'étude suivante. En outre, cette étude exploratoire va apporter des pistes d'innovation pour la conception d'un dispositif d'aide au déplacement.

2.2. Méthodologie

Pour analyser les besoins, la première phase du travail a consisté à mettre en place un groupe de discussion animé par 3 ergonomes et réunissant 10 personnes (5 femmes et 5 hommes) ayant des niveaux différents d'expertise du réseau de transport (touristes, personnes se déplaçant occasionnellement à Paris et experts du réseau) considérées comme représentatives des utilisateurs futurs du système TICTact.

2.2.1. Participants

Dix participants (5 femmes et 5 hommes) ont pris part à cette étude. L'âge moyen était de 39 ans (min : 24, max : 66). Ils ont été sélectionnés à partir d'un panel d'usagers du réseau RATP de façon à ce que les participants à l'étude soient représentatifs des usagers se déplaçant à pied en ville, tout en empruntant les transports en commun. Pour cela nous avons choisi des personnes de niveaux d'expertise différents dans le réseau de transports parisien, de catégories sociales professionnelles variées, utilisant des modalités de transport différentes (métro, bus, tram, RER), disposant ou non de smartphone pour leurs déplacements (voir le Tableau 37 avec les caractéristiques du panel de participants en Annexe 2).

2.2.2. Déroulement du groupe de discussion

Le groupe de discussion a été animé par trois ergonomes et s'est réuni pendant deux heures. Il s'est déroulé en deux parties :

(1) La première partie a consisté en un tour de table d'une dizaine de minutes, à partir de la question suivante «A quoi pensez-vous quand on vous dit information dans les transports ?». Cette question ouverte a permis de plonger les participants dans le vif du sujet afin qu'ils soient prêts pour la suite de la discussion.

(2) Dans la seconde partie, les participants ont été invités à verbaliser les difficultés qu'ils rencontrent fréquemment durant leurs trajets et incités à exprimer leurs attentes informationnelles. Cette réflexion s'est appuyée sur l'évocation de situations précises rencontrées au fil d'un déplacement. L'ergonome évoquait le déroulement d'un scénario de déplacement comprenant les différentes étapes d'un trajet : préparation d'itinéraire, trajet piéton pour se rendre jusqu'au moyen de transport public, trajet dans le véhicule de transport (bus tram et métro), correspondances avec le même type de moyen de transport (ex. métro et métro) ou avec un autre moyen de transport (ex. métro et bus) ainsi que le trajet piéton de la sortie du véhicule public de transport jusqu'à l'arrivée à destination.

2.2.3. Recueil des données

Les deux heures de groupe de discussion du groupe ont été enregistrées grâce à un dictaphone. Les échanges recueillis en format audio ont ensuite été retranscrits afin de faciliter l'analyse.

2.2.4. Traitement des données

La partie (1) du groupe de discussion permettant uniquement de plonger les participants dans la discussion, seule la partie (2) a été analysée. A partir des retranscriptions des besoins et des difficultés, nous avons regroupé les verbalisations en fonction des différentes étapes d'un trajet. Pour cela nous nous sommes appuyés sur le découpage que proposent Uzan & al (2011). Pour ces derniers, l'activité de déplacement dans les transports en commun se déroule dans quatre zones distinctes dont les caractéristiques situationnelles vont entrainer des besoins en informations spécifiques. Ces quatre zones sont les suivantes :

1- la zone ouverte : correspond à l'espace urbain (en surface) qui peut avoir des configurations diverses et où sont vécues un grand nombre d'activités différentes.

2- la zone d'accès : correspond à l'espace situé entre la zone de surface et la zone de transfert (décrite juste après) ou inversement. Si l'on prend le cas du métro, la zone d'accès correspond à l'entrée de la station en passant par les couloirs, jusqu'à l'arrivée aux quais.

3- la zone de transfert : peut correspondre soit au quai (métro) soit au bord du trottoir (bus et tramway). Elle supporte un double transfert, l'accostage et le départ du véhicule ainsi que le transfert de voyageur du quai vers le véhicule et inversement.

4- la zone de transportation : correspond à la zone située à l'intérieur du véhicule. Ici, le voyageur est momentanément dégagé des tâches propres à la conduite du déplacement physique, conduite déléguée au système de transport.

Ces quatre zones ont servi de cadre de référence pour analyser et quantifier les difficultés et les besoins informationnels exprimés verbalement afin d'obtenir un score du nombre d'évocations de ces différents points pour l'ensemble des participants au groupe de discussion.

2.3. Résultats

2.3.1. Difficultés principales rencontrées lors du déplacement

Le groupe de discussion a permis de mettre en lumière les principales difficultés rencontrées par les utilisateurs lors de leurs déplacements urbains. Les difficultés verbalisées sont récapitulées dans le Tableau 6, ci-dessous :

Zones	Difficultés rencontrées pendant le déplacement	Nb. P.
Zone ouverte	- lien entre plan de métro et plan de quartier n'est pas en concordance en terme de distance et l'organisation géographique réelle.	7/10
	- difficulté pour faire le lien entre intérieur et extérieur et trouver sa destination une fois à l'extérieur dans des quartiers peu ou pas connus.	8/10
Zone d'accès	- difficulté pour s'orienter dans les grands pôles d'échange aussi bien pour rejoindre sa correspondance que pour rejoindre une sortie	8/10
	- quand la zone d'accès n'est pas spécifiquement dédiée aux transports, comme pour prendre le bus par exemple, il est difficile de se diriger vers la zone de transfert (arrêt de bus).	8/10
Zone de transfert	- quand plusieurs véhicules partent de la même zone de transfert, difficultés pour identifier le bon véhicule (plusieurs bus qui passent au même arrêt, quai de terminus : le métro qui part en premier est mal indiqué)	7/10
Zone transportation	- sur une ligne de bus que l'on ne connaît pas, difficulté pour savoir où descendre.	8/10
Toutes zones	- présence de perturbation sur le réseau de transport impliquant une modification de son itinéraire.	10/10

Tableau 6. Récapitulatif des difficultés rencontrées par les participants au cours de leur déplacement, verbalisées lors du groupe de discussion.

Les participants sont unanimes (10 participants sur 10), pour dire que la situation leur posant le plus de difficultés pendant l'activité de déplacement est celle de la présence d'une perturbation sur le réseau de transport. Cette perturbation peut être due à différents problèmes tels qu'un incident, un accident ou encore des travaux. Les répercussions de cet incident peuvent varier allant d'un simple ralentissement à l'arrêt total de la ligne pour une durée indéterminée. Les difficultés ressenties dans ce type de situation sont constatées à deux niveaux. Tout d'abord, les difficultés sont rencontrées pendant l'intégration de l'alerte de la perturbation. Les annonces sonores signalant le problème sont souvent tardives, peu précises et incompréhensibles. Elles sont la plupart du temps, diffusées grâce aux haut-parleurs du réseau dont la qualité sonore est souvent mauvaise et dont le son est souvent masqué par le bruit ambiant. Le second niveau de difficulté se situe dans la tâche de replanification de son itinéraire suite à la perturbation. Dans ce genre de situation, l'usager du réseau est prévenu tardivement, de façon imprécise et impersonnelle, de la perturbation. Ce dernier doit alors élaborer un itinéraire alternatif à sa planification initiale avec les ressources informationnelles dont il dispose, par exemple : plan de ligne, panneaux dans la station, agents, smartphone.
C'est en prenant appui sur ce résultat que nous allons élaborer notre scénario de déplacement pour l'étude suivante. Trois éléments y sont inclus :

- l'occurrence d'une perturbation sur le réseau de transport entrainant une modification d'itinéraire

- un itinéraire impliquant de se déplacer dans chacune des zones caractéristiques de l'activité

- le passage par un grand pôle d'échange.

2.3.1.a) Besoins conscients en information tout au long du trajet

Le tableau qui suit présente les différents besoins informationnels des participants tout au long du trajet. Nous pouvons remarquer un certain consensus sur les besoins informationnels car sur les 14 besoins conscients recensés, 13 sont exprimés verbalement par plus de 7/10 participants.

Zones de déplacement	Attentes informationnelles	Nb. P.
Zone de surface	- direction à suivre pour rejoindre la zone d'accès / sa destination	10/10
Zone d'accès	- direction à suivre pour rejoindre la sortie donnant le meilleur accès ou bien la sortie choisie par l'utilisateur	10/10
	- disponibilité des équipements du réseau ainsi que de leur localisation (exemple : ascenseur, escalators, WC, etc.)	8/10
	- information sur les musiciens jouant dans les couloirs du métro RATP ainsi que leur localisation	7/10
Zone de transfert	- temps d'attente véhicule et assurance de prendre le bon véhicule	10/10
	- endroit où se placer sur le quai pour être au plus proche de l'entrée de couloir à suivre ensuite pour rejoindre sa correspondance ou sa sortie	7/10
Zone transportation	- descente de son véhicule (en particulier pour les bus)	9/10
Toutes zones	- replanification de son itinéraire en fonction de sa destination de façon individuelle	10/10
	- information sur la perturbation d'une ligne, du point d'arrêt et nécessité spécifier sa nature: interruption/ralentissement/accès station ou quai entravé;	10/10
	- niveau d'affluence sur son itinéraire	8/10
	- heure d'arrivée ou le temps restant jusqu'à sa station de correspondance et/ou sa destination	8/10
	- point d'arrêt en proximité (personnel ou propre au site).	8/10
	- alerte d'une erreur de choix de quai par rapport à un itinéraire préenregistré et ré-orientation vers le bon quai/point d'arrêt;	8/10
	- Information sur le fait que l'on se trouve toujours sur la bonne route ou pas	5/10

Tableau 7. Récapitulatif des besoins en informations issus du groupe de discussion en fonction des zones du trajet dans lesquels le besoin est spécifié.

Au cours du groupe de discussion, différents besoins informationnels ont été soulignés par une nette majorité des participants. En zone ouverte, le besoin le plus important en information est

celui des directions à emprunter pour rejoindre sa destination. En zone d'accès, le besoin en information concerne d'une part la disponibilité des équipements du réseau ainsi que leur localisation mais également la direction à suivre pour rejoindre sa correspondance de la façon la plus rapide possible ou pour pouvoir emprunter la sortie la plus proche de son lieu de destination. En zone de transfert, le besoin en information consiste à connaître le temps d'attente de son véhicule mais également à obtenir la confirmation que le véhicule dans lequel on s'apprête à entrer se rend bien dans la direction voulue. En zone véhicule, le besoin réside dans le signalement de sa descente à l'endroit souhaité en fonction de sa planification d'itinéraire. Pour les besoins en informations communs à toutes les zones, se trouvent principalement ceux liés à la planification et à la replanification tout au long du trajet et ceux concernant l'occurrence d'un incident.

Un résultat assez inattendu mérite d'être souligné : en zone d'accès, les participants ont exprimé un besoin d'information non directement lié aux caractéristiques techniques du déplacement proprement dit : ils ont souligné l'importance de l'aspect hédoniste/ludique lors du trajet avec la volonté d'enrichir l'aspect utilitaire du trajet par le fait de passer un moment agréable. Pour cela plusieurs pistes d'idées ont été données telles qu'obtenir des informations culturelles au cours de son trajet ou encore connaître la localisation des musiciens et avoir des informations à leur sujet (ex. style de musique).

Grâce aux difficultés mentionnées et aux besoins informationnels exprimés par les participants du panel, nous avons pu recenser des pistes de fonctions pour la conception d'un dispositif d'aide au déplacement.

Nous avons également recueilli les données nécessaires à la construction d'un scénario de trajet pour aborder l'analyse de besoins non conscients grâce à l'étude écologique du déplacement piéton, usager d'un réseau de transport.

3. Etude de l'activité de déplacement

3.1. Objectifs de l'étude

L'étude exploratoire réalisée précédemment nous a permis d'identifier les difficultés et les besoins informationnels ressentis de manière consciente par les utilisateurs au cours d'une activité de déplacement. Cependant les données recueillies ne sont pas suffisantes pour permettre la conception d'un dispositif utilisant une modalité sensorielle peu ou pas utilisée pour assister cette activité.

L'objectif de la seconde étude présentée ici est d'analyser l'activité de déplacement en focalisant l'intérêt sur les opérations liées à la consultation d'informations. Nous appellerons ces opérations les Activités Cognitives Elémentaires (ACE). Cet objectif se décline en cinq points :

Objectif 1 - Analyser la phase de préparation du déplacement

- Identifier les stratégies mises en œuvre pour préparer un itinéraire.
- Identifier les difficultés des participants lors de la préparation.

Objectif 2 - Comprendre où se déroule chaque ACE au cours du déplacement

- Caractériser la consultation d'information pour chaque ACE en fonction de la zone de déplacement dans laquelle elle est réalisée.

Objectif 3 - Analyser les besoins en information nécessaire à la réalisation de chaque ACE

Objectif 4 - Examiner l'incidence de la consultation de supports d'information visuels sur l'activité de déplacement pour chacune des ACE

- Définir l'incidence de la consultation d'un support d'information visuel sur l'allure de déplacement.

- Définir l'incidence de la consultation d'un support d'information visuel sur l'issue de l'ACE à laquelle la consultation se réfère.

Objectif 5 - Etudier l'effet de l'utilisation du smartphone sur la performance de déplacement afin de définir si la consultation d'informations visuelles en mobilité dégrade ou non l'activité

- Hypothèse 5.1 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation de la durée de consultation d'information.

- Hypothèse 5.2 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'information.

- Hypothèse 5.3 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation du temps de déplacement effectué à allure dégradée.

- Hypothèse 5.4 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'information dont l'issue est négative.

Objectif 6 - Etudier l'effet du niveau d'expertise de l'utilisateur (connaissance du réseau RATP et connaissance du trajet) sur le déplacement

- Hypothèse 6.1 : Un niveau faible en ce qui concerne la connaissance du trajet et du réseau va entrainer une augmentation de la durée de consultation d'information.

- Hypothèse 6.2 : Un niveau faible de connaissance du trajet et du réseau faible va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'informations.

- Hypothèse 6.3 : Un niveau faible en ce qui concerne la connaissance du trajet et du réseau va entrainer une augmentation de la durée de déplacement à allure dégradée.

- Hypothèse 6.4 : Un niveau faible de connaissance du trajet et du réseau va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'information dont l'issue est négative.

3.2. Méthodologie

Pour répondre aux objectifs énoncés précédemment nous avons mis en place une méthodologie d'analyse de l'activité combinant observations systématiques et entretiens d'auto-confrontation auprès d'un panel de participants qui ont réalisé un déplacement sur la base d'un trajet-scénario dans la ville de Paris. Cette section détaille cette analyse.

3.2.1. Participants

Pour cette étude, 22 personnes âgées de 20 à 49 ans (M=27,6 ans) dont 11 femmes et 11 hommes, ont été sélectionnées grâce à un questionnaire en ligne (cf. Annexe 3). Ce questionnaire permettait d'obtenir des informations sur les participants, à propose de leurs pratiques de déplacement piéton urbain et permettait d'évaluer leur niveau de connaissance du réseau et du trajet déterminé par le scénario.

Deux facteurs principaux ont déterminé les critères de sélection des participants : **l'utilisation ou non de smartphone** comme outil d'aide à l'activité de déplacement piéton urbain et **le profil usager** défini par la fréquence d'utilisation des transports, le niveau de familiarité avec le réseau RATP et le niveau de connaissance du trajet réalisé lors de l'expérimentation (Cf. la partie « Scénario » ci-après).

Utilisation du smartphone : au cours de ces dernières années, le smartphone est devenu un outil courant pour l'aide au déplacement. L'impact de l'usage de cet outil sur les stratégies, les pratiques et les comportements lors de l'activité, est encore peu documenté (Hirtle & Raubal, 2013). Afin de

pouvoir comparer l'activité de déplacement avec et sans smartphone, nous avons sélectionné 11 participants utilisateurs de smartphone et 11 non utilisateurs.

Profil usager : différents auteurs ont souligné l'impact du niveau d'expérience de l'itinéraire et de l'environnement concerné sur la réalisation de l'activité de déplacement. (Allen, 1999) définit trois types de parcours d'itinéraires différents : le déplacement en partant d'un point familier pour rejoindre une destination familière, le déplacement sur un itinéraire nouveau dans un environnement familier et enfin un itinéraire nouveau dans un environnement nouveau. Le fait de choisir un panel prenant en compte différents niveaux d'expertise va permettre de documenter les besoins d'informations en fonction du niveau d'expérience et de proposer un dispositif adapté à chacun.

- Onze participants du panel correspondaient au **profil « usager occasionnel »** : entrent dans cette catégorie les personnes non familières du réseau RATP, les personnes qui se déplacent moins d'une fois par mois sur le réseau (exemple : Franciliens, touristes). Le niveau de connaissance du réseau de ces personnes est moyen ou nul et les quartiers et lignes empruntés par le scénario ne sont pas connus.

- Onze participants du panel correspondaient au **profil « usager régulier »** : ce profil correspond aux personnes qui utilisent les transports en commun plus d'une fois par mois, qui ont une bonne connaissance du réseau et qui ont l'habitude de passer par les stations et quartiers correspondant au trajet-scénario. Les personnes se déplaçant en transport en commun de façon plus occasionnelle (fréquence mensuelle), avec une connaissance du réseau moyenne mais ayant l'habitude de se déplacer dans les quartiers et sur les lignes du scénario sont également considérées comme « usager régulier » pour l'expérimentation. Onze participants du panel correspondaient à ce profil.

3.2.2. Scénario de déplacement

Afin d'étudier l'activité de déplacement piéton urbain et les usages avec les outils d'aide existants nous avons élaboré, grâce aux résultats de l'étude exploratoire présentée précédemment, un trajet-scénario situé dans la ville de Paris. Ce trajet nécessitait une trentaine de minutes, il consistait à partir d'une adresse de départ et à se rendre en métro à une adresse de destination. Au cours du trajet, le participant allait être confronté à une perturbation inattendue entrainant une replanification d'itinéraire. Le participant devait alors poursuivre son déplacement en surmontant cet incident imprévu et rejoindre coûte que coûte sa destination en empruntant un trajet de substitution, comme le montre l'illustration du trajet dans la Figure 14.

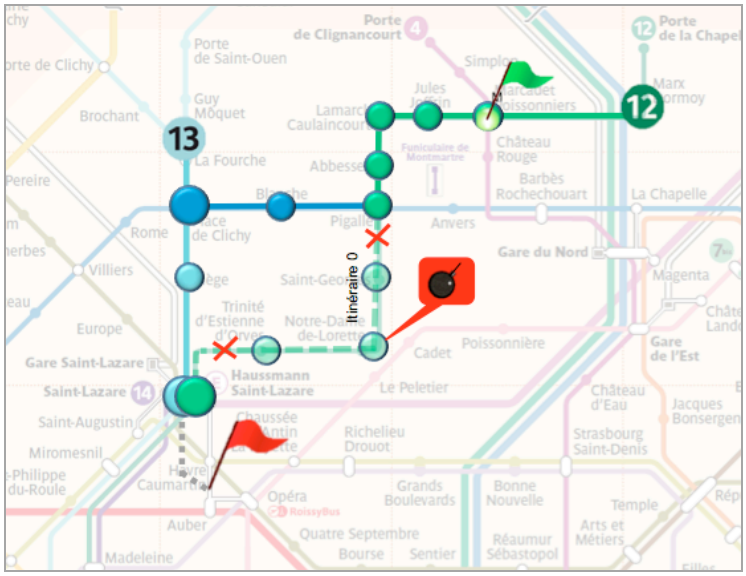


Figure 14. Récapitulatif de l'itinéraire réalisé par le participant pour se rendre du point de départ (12 rue des Portes Blanches, 18ème) au point d'arrivée (21 rue Auber, 9ème). L'itinéraire 0 est l'itinéraire nominal (ligne 12-vert) et l'autre est l'itinéraire de substitution pour se rendre à destination (ligne 12, puis ligne 2-bleu foncé puis ligne 13-bleu turquoise) pour arriver à destination.

Il était bien spécifié aux participants qu'ils ne pouvaient utiliser ni le bus, ni le tram ou tout autre moyen de transport. Il n'était autorisé que la marche à pied et le métro afin de limiter les possibilités de réalisation du trajet et de pouvoir ainsi comparer les données issues des observations.

3.2.3. Déroulement de l'étude

Le déroulement de l'étude se fait en deux étapes : (1) la réalisation du scénario de déplacement et (2) un entretien d'auto-confrontation s'appuyant sur la vidéo du trajet réalisé lors de l'étape précédente.

3.2.3.a) Observations de l'activité de déplacement à partir du scénario de déplacement

La première étape, d'une durée d'environ quarante minutes par participant, repose sur l'observation de la réalisation du scénario de déplacement présenté précédemment. Afin que les conditions du trajet soient les plus naturelles possible, il a été demandé en amont de l'expérimentation que chaque participant apporte ses propres outils d'aide au déplacement (exemple : plan, carte, smartphone, etc.), c'est à dire ceux qu'il utilise spontanément lors d'un déplacement habituel. Un ordinateur connecté à internet est également à disposition des participants au point de départ afin qu'ils puissent préparer leur itinéraire comme à leur habitude s'ils le désirent.

Après avoir présenté le projet de recherche et fait signer le formulaire de consentement éclairé, la consigne suivante était donnée au participant :

> « Vous êtes actuellement au 12 rue des Portes Blanches. Vous devez vous rendre au 21 rue Auber au Café « Le Pharaon » pour un rendez-vous. Les moyens de transport dont vous disposez sont la marche à pied et le métro. Vous disposez également de toutes les ressources informationnelles que vous utilisez habituellement pour vous déplacer (carte, smartphone, plan de métro, etc.). L'objectif de l'expérimentation est que vous réalisiez ce trajet comme vous le feriez si vous étiez seul en faisant abstraction de ma présence. »

Après s'être assuré de la bonne compréhension de la consigne, l'expérimentateur se met en retrait et laisse le participant mener à bien son déplacement, depuis la préparation d'itinéraire jusqu'à son arrivée à destination. A partir de ce moment, plus aucune interaction n'est possible entre le participant et l'expérimentateur. Durant toute la réalisation du scénario l'expérimentateur se place 1 à 2 mètres derrière le participant afin de pouvoir l'observer sans entraver son activité.

3.2.3.b) Entretien à partir de la vidéo de l'activité réalisée précédemment

La seconde étape de l'expérimentation est un entretien d'auto-confrontation d'environ trente minutes s'appuyant sur la visualisation de la vidéo du trajet réalisé par le participant. L'entretien succède directement à l'étape de réalisation du scénario et se déroule dans une salle située à proximité du point d'arrivée du trajet. Une première partie de l'entretien aborde la phase de préparation d'itinéraire en utilisant la méthode du « pourquoi, comment » (Bisseret, Sebillotte, & Falzon, 1999).

Dans la seconde partie de l'entretien, l'expérimentateur, à partir de notes prises pendant la réalisation du trajet, sélectionne différents moments du parcours pour lesquels un complément d'information est nécessaire afin de comprendre l'activité. Le reste de la vidéo est passé en accéléré mais de sorte que les images restent suffisamment lisibles pour que le participant puisse les identifier. Le participant peut également stopper la vidéo à tout moment s'il veut revenir sur un autre moment que ceux sélectionnés par l'expérimentateur. Il est invité à visionner les passages et à expliquer et préciser ses pratiques et son comportement. Il lui est demandé de se focaliser plus particulièrement sur les ressources informationnelles utilisées ainsi que sur les difficultés rencontrées avec les outils d'aide afin de valider et de compléter les observations faites par l'expérimentateur lors de la réalisation du trajet-scénario.

3.2.4. Recueil de données

La préparation d'itinéraire et le trajet réalisé par les participants sont enregistrés grâce à une caméra. Nous avons ainsi obtenu quinze heures de vidéos. L'expérimentateur est positionné 1 à 2 mètres derrière le sujet, de manière à avoir un angle de vue sur ce que le participant regarde dans l'environnement. Cela nous a permis d'enregistrer durant la totalité du trajet, les verbalisations, les actions, les comportements de chaque participant ainsi que les informations contextuelles, telles que les étapes du trajet.

Les entretiens réalisés sur la base des bandes vidéo recueillies durant l'étape précédente ont été enregistrés à l'aide d'un dictaphone numérique. Les verbalisations issues de l'auto confrontation ont été retranscrites de manière systématique afin de pouvoir être analysées en les mettant en corrélation avec le moment du trajet auxquelles elles correspondent et ainsi obtenir les données nécessaires à l'analyse de l'activité de déplacement. Voici un extrait de tableau du verbatim recueilli durant l'entretien :

Temps	*Etape*	*Verbalisations issues de l'auto-confrontation*
08 :59 *10 :13* *12 :48*	*Métro*	*« Quand j'arrive dans la rame, je ne vérifie pas que je vais dans la bonne direction parce que normalement je ne me trompe pas de quai! Ce n'est pas en arrivant dans le métro mais c'est à la station d'après, je regarde si je suis parti dans le bon sens. Mais à la première je ne regarde pas, car on ne peut pas vraiment savoir. »* *« Après, je sais que je suis dans la bonne direction, je regarde plusieurs fois pour voir ce qu'il me reste à faire, s'il y a des correspondances. »*

Tableau 8. Extrait du tableau de la retranscription des verbalisations issues de l'auto-confrontation mises en corrélation avec l'étape du trajet.

3.2.5. Traitement des données

De façon à analyser finement l'activité de déplacement, nous avons traité différemment les données issues de la phase de préparation d'itinéraire et celles issues de la phase de réalisation du trajet scénario. Nous allons détailler chacun de ces traitements.

3.2.5.a) Analyses de la phase de préparation d'itinéraire

Les données recueillies lors de la phase de préparation d'itinéraire ainsi que les verbalisations lors de l'entretien ont été traitées de façon à comprendre l'usage des outils d'aide existants et les stratégies mises en œuvre avec ces derniers pour obtenir les informations nécessaires au déplacement futur mais également les difficultés rencontrées au cours de cette phase.

3.2.5.b) Analyses de la phase de réalisation du trajet-scénario

- *Caractérisation de la consultation d'information*

A partir des données vidéo correspondant aux observations in situ complétées par les verbalisations provenant des entretiens, nous avons défini une grille de codage constituée de trois catégories permettant de caractériser la consultation d'information :

- l'**Activité Cognitive Elémentaire (ACE)** à laquelle la consultation d'information est liée

- la **zone du trajet** dans laquelle la consultation est réalisée,

- le **contenu de l'information** consultée.

Les données sont codées grâce au logiciel Observer XT de Noldus. Ce logiciel a permis d'analyser les comportements des participants de manière précise et quantitative. Il nous a également permis d'enregistrer les informations temporelles puis de pouvoir filtrer les données de manière pertinente pour notre étude.

Nous allons à présent détailler chacune des catégories de notre grille de codage ;

(1) Nous appelons **« ACE »,** les activités cognitives élémentaires qui sont mises en œuvre tout au long de l'activité de déplacement et pour lesquelles la consultation d'un support d'information est nécessaire pour pouvoir mener à bien ce déplacement. Les ACE sont la plupart du temps complémentaires les unes des autres. La catégorisation que nous avons réalisée de ces ACE est issue des cadres théoriques du wayfinding, (Allen, 1999); Heuten, W., Henze, N., Boll, S., & Pielot, M., 2008) ; (Raubal, 2001). Ces données sont inférées à partir des observations réalisées pendant le déplacement puis complétées et validées lors de l'entretien post déplacement :

ACE	Description
Prendre une décision d'orientation en extérieur	naviguer en environnement urbain extérieur, grâce à trois moyens différents (Allen, 1999) : la recherche de l'orientation, le pilotage entre les points de repère (ex. nom de rue ou bâtiment repérable) et la référence à une carte cognitive (cohérence entre la représentation mentale et l'environnement perçu).
Prendre une décision d'orientation en intérieur	naviguer en environnement intérieur, dans la station de métro. Pour cela, trois moyens différents sont mis en œuvre par la personne (Allen, 1999): la recherche de l'orientation, le suivi de balise et le pilotage entre deux points de repère (ex. suivi de flèches correspondant à la ligne que l'on doit prendre). Dans un environnement comme la station de métro, différents panneaux de l'infrastructure de la RATP (ex. fléchage de ligne, de sortie) vont assister la personne afin qu'elle trouve sa route. Le suivi de signe ne demande pas un effort cognitif considérable. Après avoir détecté le signe, l'individu a besoin d'identifier des informations pertinentes sur le signe, faire correspondre avec la localisation de la cible et exécuter l'action déclarée par le signe (Raubal, 2001).
Planifier - Replanifier	déterminer un itinéraire en fonction de différents critères (mode de transport, du nombre de correspondances, du temps de marche, etc.). Dans notre étude le mode de transport est imposé par une consigne donnée au participant car il doit utiliser le métro pour se déplacer. Les autres critères, tels que le choix de passer par un pôle d'échange ou non, ou le nombre de correspondances sont choisis par le participant. Au cours du trajet, le plan initial est susceptible d'évoluer suite par exemple à une perturbation, le participant devra alors replanifier son trajet (Amalberti & Hoc, 1998).
Vérifier - Confirmer	vérifier/confirmer qu'il se trouve bien sur le bon chemin (Heuten, Henze, Boll, & Pielot, 2008) ex. vérification d'avoir pris la ligne de métro dans le bon sens (et non à l'envers) lorsqu'on se trouve à une station après son départ.
Contrôler le déroulement temporel	gérer et contrôler le déroulement temporel de son trajet aussi bien au niveau de la gestion du temps global que de la gestion de l'enchaînement des différentes étapes et correspondances. Cette activité concerne essentiellement les prises d'information sur l'horaire, le temps d'attente d'un véhicule, le temps de trajet ou encore, le relevé de l'heure afin que l'utilisateur puisse gérer et estimer son temps de trajet global et son heure d'arrivée. (exemple : se localiser lors de son trajet en métro grâce au nom de station sur le quai puis regarder sur le plan de ligne du métro pour évaluer le temps qu'il reste avant d'atteindre la station cible et ainsi pouvoir anticiper sa descente).
Intégrer des informations imprévues supplémentaires	intégrer de nouvelles informations au cours du trajet (ex. annonce de colis piégé). L'information donnée est assimilable à la notion d'alerte du voyageur. Ces informations portent essentiellement sur les conditions de circulation, comprenant les restrictions de circulation ainsi que sur les levées de restriction. Dans ce cas, la prise d'information est passive puisqu'elle n'est pas recherchée volontairement par l'utilisateur, elle lui est imposée et peut impliquer une modification de son déplacement. L'activité qui découle de cette saisie passive d'information va plus ou moins se répercuter sur le déplacement et peut entraîner une replanification de trajet.
Activités annexes, non liées au déplacement proprement dit	Activités non liées au déplacement proprement dit mais faisant partie intégrante de l'activité. Cela consiste en toutes les activités annexes que l'on peut faire lors de moment d'attente pendant le déplacement (ex. attente d'un véhicule, attente lorsqu'on se trouve dans le véhicule jusqu'à arriver à sa destination). Ces activités sont différentes suivant les personnes (ex. lire, écouter de la musique, discuter avec une tierce personne), le contexte et la situation. Certains supports d'information tels que le smartphone peuvent être utilisés pour des activités diverses n'étant pas en lien avec le déplacement, (ex. lire et écouter de la musique).

Tableau 9. Récapitulatif des activités cognitives mises en œuvre pendant le déplacement et nécessitant la consultation d'un support d'information.

(2) Les étapes du trajet sont découpées de la même façon que pour l'étude exploratoire : la zone de surface, d'accès, de transfert et de transportation (voir Tableau 6). Cela va permette d'ancrer les interactions entre usagers et outils d'information dans des moments précis du trajet.

(3) Contenu de l'information

Il est important de différencier le contenu de l'information selon les différents supports proposés. En effet, deux supports différents tels qu'un plan papier, un panneau sur le quai d'une station ou encore le smartphone peuvent fournir à l'utilisateur un contenu informationnel identique : le plan des lignes de métro. Connaître le contenu des informations consultées par les participants de l'étude va permettre d'identifier les ressources informationnelles nécessaires au déplacement. Les catégories de contenu de l'information sont les suivantes :

- Plan du métro
- Plan de ligne
- Plan de bus
- Itinéraire transport (feuille de route pour la partie du déplacement en transport)
- Itinéraire zone ouverte (feuille de route pour la partie du déplacement en zone ouverte)
- Nom de station
- Densité d'usagers
- Liste des stations de la ligne, du point actuel jusqu'au terminus
- Plan de quartier
- Fléchage ligne
- Fléchage sortie
- Temps d'attente
- Nom de rue
- Numéro de rue
- Lieu-repères
- Perturbation (annonce sonore)

Les différentes informations catégorisées ci-dessus sont des informations visuelles, excepté la catégorie « perturbation » qui, dans le cadre de notre étude est présentée en utilisant la modalité auditive : annonce sonore.

- *Critères de performance du déplacement en lien avec la consultation d'information*

La performance du déplacement liée à la consultation d'information va être évaluée selon différents critères :

- le **temps de déplacement**
- le **temps de consultation** d'un support d'information
- le **nombre de consultations** d'information
- l'**allure du déplacement** : l'allure peut être dégradée (marche hésitante, arrêt volontaire) ou non (marche franche ou arrêt obligatoire, dû à l'attente du véhicule ou bien encore à l'attente d'un feu rouge).
- l'**issue de l'ACE** relative à la consultation : nous avons cherché à établir si la consultation des supports d'information facilitait ou non la mise en œuvre de l'ACE concernée. Lorsque c'est le cas, la consultation des supports d'information est jugée positive. Lorsque la mise en œuvre de l'ACE n'est pas facilitée par la consultation des supports d'informations, cette issue négative peut être due à trois types de problèmes : un problème de support (le smartphone ne capte pas), l'information est inexistante (le participant la cherche mais elle n'existe pas), l'information est mal interprétée par l'utilisateur.

- *Comparaison de la performance de l'activité de déplacement pour les variables indépendantes « utilisation de smartphone » et « profil usager »*

Afin de pouvoir comparer les données correspondant aux critères de performance de l'activité de déplacement des deux groupes expérimentaux, nous utilisons le test non paramétrique de Mann-Whitney. Ce test statistique permet de comparer deux échantillons indépendants de petite taille.

3.2.5.c) Analyses des entretiens post déplacement

Une fois retranscrits, les entretiens ont été analysés de façon thématique. A partir des verbalisations des participants sur leur activité de déplacement nous avons mis l'accent sur certains points qui nous intéressaient particulièrement : l'usage des différentes ressources informationnelles, le but de leur consultation et les difficultés rencontrées au cours du déplacement.

3.3. Résultats

3.3.1. Phase de préparation d'itinéraire

Nous nous sommes intéressés tout d'abord à la phase de préparation d'itinéraire afin d'identifier les stratégies mises en œuvre. Nous avons centré l'observation sur les outils d'aide utilisés habituellement par les participants ainsi que sur les difficultés rencontrées.

3.3.1.a) Temps de réalisation de la préparation

Les participants ont préparé leur itinéraire en moyenne en 3 minutes et 48 secondes, avec un écart-type de 2 minutes et 22 secondes, ce qui représente une variabilité importante. Cette variabilité est représentée dans le graphe suivant (Figure 15). On peut remarquer que 12 participants sur 22 ont un temps de préparation d'itinéraire entre 40 secondes et 3 minutes, 4 participants ont un temps de préparation compris entre 3 et 5 minutes et 6 participants ont des temps allant de 6 à 7min 42.

Nous avons souhaité analyser de façon plus spécifique l'utilisation du smartphone lors de cette phase de préparation d'itinéraire. En ce qui concerne le temps de préparation, les participants utilisateurs de smartphone ont une moyenne de 3 minutes et 25 secondes alors que les participants n'utilisant pas un smartphone ont un temps moyen de préparation de 4 minutes et 11 secondes. La différence entre les deux groupes n'est pas significative. Le fait d'utiliser un smartphone n'a donc pas d'impact réel sur le temps de préparation. Si l'on regarde à présent la variation dans chacun des groupes, l'écart-type est de 2 minutes 34 secondes pour le groupe sans smartphone et de 2 minutes et 12 secondes pour le groupe avec smartphone. La Figure 15, ci-dessous présente la répartition des utilisateurs de smartphone en fonction du temps passé à préparer l'itinéraire. On peut constater que la dispersion est important aussi bien pour les participants avec smartphone que sans.

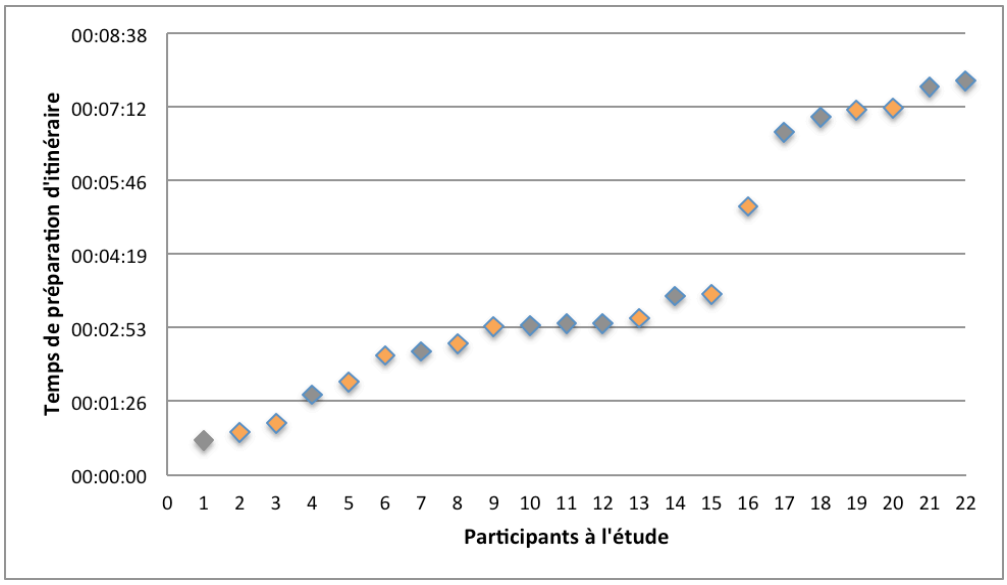


Figure 15. Représentation des différents temps de préparation d'itinéraire pour chacun des vingt-deux participants de l'étude. Les utilisateurs de smartphone sont représentés par les losanges oranges et ceux n'utilisant pas un smartphone par les losanges gris.

3.3.1.b) Préparation pour la partie transport et la partie piétonne en zone ouverte

Pour l'ensemble des participants la préparation d'itinéraire se découpait en deux parties distinctes : la préparation d'itinéraire en transport en commun et la préparation du trajet piéton en zone ouverte, correspondant à l'environnement urbain, de l'arrivée en transport jusqu'à la destination. Les 22 participants ont tous réalisé la partie préparation d'itinéraire concernant les transports en commun en amont du déplacement à proprement parler mais seulement 7 ont préparé en amont leur itinéraire piéton. Ces sept participants ne connaissaient pas du tout le quartier de la destination. Pour les quinze autres participants, deux raisons différentes expliquaient le fait de ne pas préparer cette partie de l'itinéraire. La première était que les participants connaissaient le quartier et n'avaient donc pas besoin de préparer l'itinéraire piéton pour trouver leur route, une fois arrivés avec les transports en commun (6 participants sur 22). La seconde était que les participants étaient utilisateurs d'un smartphone et ils comptaient l'utiliser pour obtenir les informations de localisation et de guidage une fois arrivés sur place, grâce à une application smartphone telle que Google Maps (plan de quartier et GPS).

Nous allons nous intéresser tout d'abord à la phase de préparation d'itinéraire concernant les transports en commun.

3.3.1.c) Mise en lumière de deux stratégies de préparation d'itinéraire de transport en commun

Les observations et l'entretien avec les participants de l'étude nous ont permis d'identifier pour chaque participant les différentes étapes de préparation d'itinéraire pour la partie concernant les transports en commun. Deux stratégies différentes de préparation ont été mises en lumière. Nous allons à présent détailler chacune de ces deux stratégies.

Stratégie N°1

La première stratégie consiste à construire son itinéraire soi-même sans utiliser d'outil d'aide à la planification. Pour la mise en œuvre de cette stratégie, les outils d'aide utilisés sont un plan de quartier (quartier de départ et d'arrivée) qui peut être au format papier ou bien numérique (exemple : application Google Maps sur smartphone) ainsi qu'un plan du réseau des transports en commun.

Cette stratégie de construction d'itinéraire (représentée sur la Figure 17) se déroule en plusieurs étapes. La première consiste à se localiser sur une carte (lorsqu'on part d'un endroit connu, cette étape n'est pas forcément réalisée) et à identifier les moyens et lignes de transport à proximité. Ensuite le participant réalise la même opération pour sa destination (localisation de la destination et des transports à proximité). Une fois cette étape terminée, le participant étudie le meilleur trajet possible au départ de la station de laquelle il est le plus proche actuellement. Le choix de parcours à cette étape va être pour le participant un compromis à trouver entre nombre de correspondances et temps de marche à pied. Certains (10/13 participants), vont préférer avoir un trajet le plus direct possible quitte à devoir marcher un peu plus ; d'autres vont privilégier une arrivée en métro au plus proche (3/13 participants). Le choix dans ce compromis va également dépendre de nombreux autres facteurs tels que la météo, la connaissance ou nom du quartier de destination, l'envie de passer dans une grosse station ou non.

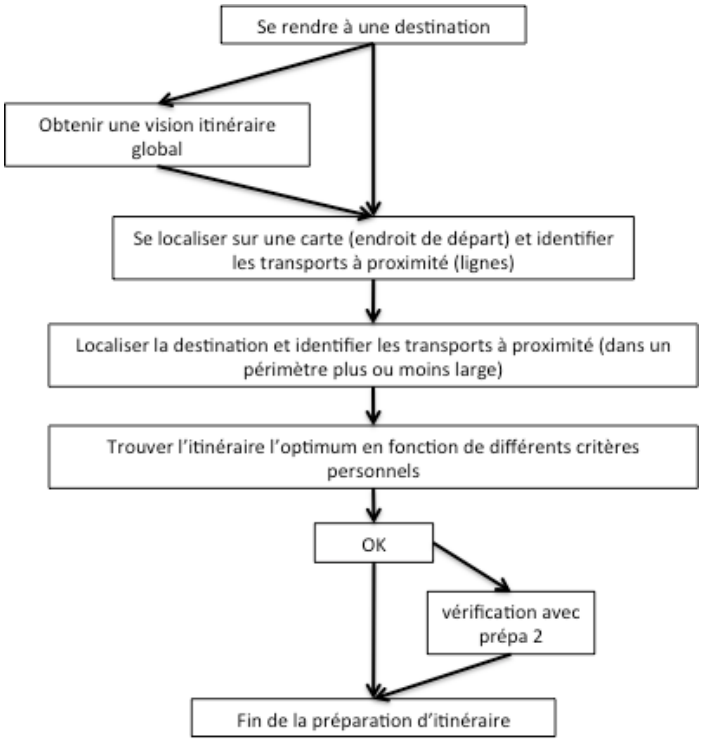


Figure 16. Représentation schématique des différentes étapes de la stratégie de préparation d'itinéraire n°1.

Sur les 13 participants ayant mis en œuvre cette stratégie, 2 d'entre eux ont ensuite cherché à confirmer que l'itinéraire qu'ils avaient élaboré eux-mêmes était bien le plus efficace (temps et nombre de correspondances) en utilisant un outil de planification d'itinéraire, ce qui correspond à la stratégie de préparation n°2 présenté ci-après.

Stratégie de préparation N°2

La seconde stratégie (Figure 17) consiste à planifier son itinéraire grâce à un outil d'aide à la planification. Les aides à la planification peuvent être par exemple le site internet de la RATP ou bien encore le site Mappy ou Google Maps lorsque l'on choisit parmi les options proposées le mode déplacement « transport en commun ». Cette stratégie consiste à entrer son point de départ (adresse ou « lieu actuel » ainsi que son point d'arrivée (adresse). C'est le système qui calcule les différents itinéraires possibles et propose ensuite à l'utilisateur un ou plusieurs choix possibles en fonction de différents paramètres : temps de trajet, temps de marche à pied, nombre de correspondances. Les préférences utilisateurs dans le choix de ces paramètres sont plus ou moins détaillées selon les outils d'aide à la planification. Si les informations données par le site de planification proposent un itinéraire où l'utilisateur estime qu'il y a trop de changements, il va vérifier l 'information en regardant sur un plan s'il n'y a pas un itinéraire plus direct avec moins de correspondances, en marchant un peu plus (stratégie de préparation d'itinéraire n°1). Nous pouvons illustrer cela par les verbatims de deux participants :

« *J'ai vu qu'il n'y avait pas trop de correspondances, je me suis dit que ça devait être le chemin le plus court. Donc je pouvais y aller directement. En général, quand il y a plusieurs correspondances, j'essaie de regarder s'il n'y a pas plus court, dans le sens où j'ai mis juste le nom du métro, mais là comme il n'y avait qu'une ligne directe je me suis dit, c'est bon, j'y vais. Quand l'itinéraire de la RATP donne beaucoup de correspondances, je regarde le plan pour voir s'il n'y a pas un trajet plus court avec moins de correspondance en marchant un peu plus.* »

« *Normalement je vais sur le site RATP, je tape les adresses et je fais une recherche. Je vois le trajet proposé et si je trouve que ça prend trop de temps, s'il y a trop de changement, je commence à chercher dans le plan interactif pour voir si je ne peux pas trouver un autre trajet. Et si je veux avoir plus d'info, je regarde dans Google Maps.* »

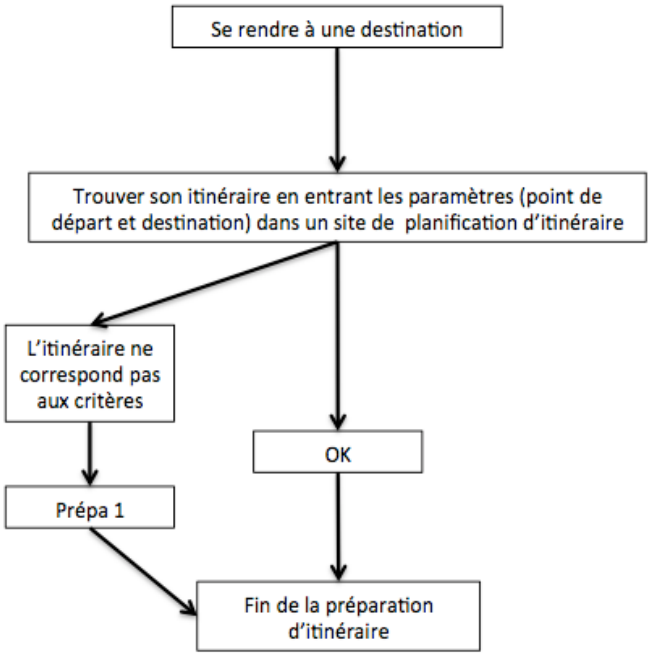


Figure 17. Représentation schématique des différentes étapes de la stratégie de préparation d'itinéraire n°2.

Sur les 22 participants, 13 ont mis en œuvre la stratégie de préparation n°1 et 8 la stratégie de préparation n°2. La stratégie N°1 consiste à planifier intégralement son trajet, la stratégie N°2 repose sur l'utilisation d'un outil d'aide à la planification. La distinction entre les deux stratégies réside ainsi dans l'utilisation ou non de l'outil d'aide à la planification.

Si nous nous intéressons de façon plus spécifique aux 11 participants utilisateurs de smartphone, 6 d'entre eux ont mis en œuvre une stratégie de préparation d'itinéraire n°1 : ils ont construit eux-mêmes leur itinéraire en utilisant un plan de quartier (exemple : application Google Maps) et un plan du métro accessible sur les applications d'aide au déplacement (RATP, Vianavigo). Cela souligne l'inadéquation ressentie entre les outils d'aide à la planification et les critères de choix d'itinéraire en fonction des contraintes situationnelles de l'utilisateur à un instant T.

3.3.1.d) Informations nécessaires pour la réalisation du trajet en transport en commun issue de la préparation

Les deux stratégies présentées ci-dessus permettent toutes deux d'obtenir les informations nécessaires à la réalisation du trajet en transport en commun. Ces informations sont les suivantes :

- les stations de départ et d'arrivée
- les lignes de transports à emprunter (numéro et/ou couleur de ligne)
- la direction à emprunter sur chaque ligne, indiquée par le nom de la station terminus
- l'estimation du temps de trajet. Cette estimation du temps de trajet est inférée pour les participants mettant en œuvre la stratégie N°1, en comptant par exemple le nombre de station de métro à parcourir.

3.3.1.e) Préparation de l'itinéraire piéton en environnement urbain

Une fois l'itinéraire en transport en commun défini, les 7 participants sur 22 n'utilisant pas un smartphone et ne connaissant pas le trajet ont préparé l'itinéraire piéton de la station de métro de destination jusqu'au lieu d'arrivée du scénario (adresse). Tous ont utilisé un site internet leur permettant d'avoir une carte du quartier (Google Maps ou Mappy). Ils ont entré le nom de la station et l'adresse d'arrivée et ont obtenu une vue globale du trajet tracé sur la carte, vue dans laquelle ils pouvaient zoomer plus ou moins en fonction du niveau de détail souhaité. Le participant regardait alors les rues à emprunter pour se rendre à destination ainsi que la forme globale du trajet. Chaque

participant a noté ces informations sur un bout de papier (de type post-it) de façon à pouvoir les conserver pour les utiliser une fois sur place sans avoir à les mémoriser.

3.3.1.f) Difficultés rencontrées lors de la phase de préparation

L'analyse de la préparation d'itinéraire nous a également permis de recenser les difficultés rencontrées par les utilisateurs pendant cette phase.

- Difficultés pour connaître les ressources existantes (5 participants sur 22)

La stratégie choisie est fortement influencée par les outils connus et à disposition de ces participants. Les difficultés peuvent venir de l'ignorance des ressources informationnelles existantes. Cette difficulté concerne de façon quasi exclusive les participants de l'étude ayant une connaissance très restreinte du réseau (profil d'usager : touriste). Nous pouvons illustrer cette difficulté par le verbatim suivant :

> *Quand on ne connait pas c'est difficile de savoir les stations qu'il y a à côté et les lignes qui y passent. J'ai noté le nom de la station d'arrivée et le numéro des lignes passant à cette station sur mon agenda et la même chose pour l'arrivée. Je ne savais pas trop quoi faire. Puis je me suis dit qu'il devait bien y avoir un site RATP. En tapant sur google RATP, j'ai eu la chance de tomber sur un lien « itinéraire ». Je n'avais jamais utilisé, mais je me suis dit que ça devrait m'aider. »*

- Difficulté pour mémoriser l'itinéraire (4 participants sur 22)

L'itinéraire doit être gardé en mémoire durant tout le trajet et, au fur et à mesure les informations sont effacées. La mémorisation de l'itinéraire est en double tâche avec la réalisation de l'itinéraire. Avant de se lancer dans la réalisation de l'itinéraire, les voyageurs de ce groupe notent sur un pense-bête les instructions à suivre aussi bien pour le trajet en transport que le trajet à pied dans le quartier de destination ce qui est le cas 4 participants parmi les 11 voyageurs occasionnels.

- Vide informationnel sur les noms et numéros de sorties de station de métro (20 participants sur 22).

Une grande majorité des participants ont verbalisé la difficulté qu'ils éprouvent à ne pas pouvoir obtenir d'information sur le numéro ou sur le nom de la sortie à suivre pour sortir de la station de métro au plus proche de sa destination en surface. Cette information n'est disponible avec aucun outil d'aide à la planification à l'heure actuelle.

- Manque d'adéquation entre les besoins des utilisateurs et les critères de planification (19 participants sur 22)

La plupart des participants utilisent de façon complémentaire les stratégies de préparation n°1 et n°2 de façon à pouvoir choisir leur itinéraire en fonction de critères qui leurs sont propres et que les sites d'aide à la planification ne prennent pas forcément en compte, tel que le fait de vouloir ou ne pas vouloir passer par une station donnée (éviter les grosses stations par exemple).

3.3.1.g) Synthèse sur la phase de préparation d'itinéraire

La préparation d'itinéraire pour l'activité de déplacement piéton dépend des outils d'aide à disposition et de la situation dans laquelle elle est réalisée. Les informations issues de cette phase sont nécessaires pour la réalisation du trajet.

L'utilisation du smartphone permet d'avoir accès à des informations en temps réel tout au long du trajet. Cela permet de libérer cognitivement la personne de la mémorisation d'instructions de déplacement. Nous pouvons ainsi constater que la stratégie de préparation d'itinéraire va également dépendre fortement de la situation et du contexte dans lesquels cette phase de préparation est réalisée. L'utilisation du smartphone pour la préparation permet de réduire l'obligation d'anticipation d'un trajet inconnu. En effet, grâce aux applications mobiles, un voyageur peut planifier de façon instantanée un nouvel itinéraire avec son téléphone. La stratégie de préparation va également dépendre du niveau de connaissance et d'expertise avec les outils d'aide existants. Les novices du réseau ont eu des difficultés liées à ce manque de connaissance des outils.

3.3.2. Activités Cognitives Elémentaires et zones du déplacement

Nous allons à présent analyser la phase de réalisation du trajet en nous ciblant plus spécifiquement sur l'activité de déplacement dans chacune des zones du trajet. Pour cela nous avons caractérisé les consultations d'information dans chaque zone en fonction de l'ACE à laquelle elle correspond ainsi qu'en fonction du contenu d'information utilisé.

3.3.2.a) Temps de réalisation du trajet et temps de consultation d'information

Les vingt-deux participants de l'étude ont réalisé le trajet en 36 minutes en moyenne (SD = 00:06:38). Durant la réalisation du trajet, ils consultent en moyenne 77,2 fois (SD = 20,9) un support d'information (la consultation peut prendre la forme d'un simple coup d'œil ou d'une lecture attentive). L'écart type étant important, la disparité entre les participants est donc élevée. Le temps moyen de consultation au cours du trajet est de 11 minutes et 37 secondes, soit 32 ,7% du temps de trajet.

Temps de trajet		**Temps de consultation**		**Temps consultation / Temps de trajet**	**Nb consultations**	
Moy	SD	**Moy**	SD	%	**Moy**	SD
00:36:07	00:06:38	**00:11:37**	00:04:24	32,7	**77,2**	20,9

Tableau 10. Récapitulatif du temps de trajet, nombre de consultations, temps de consultation et pourcentage de temps moyen ou une personne a consulté un support d'information.

3.3.2.b) ACE et zones du déplacement

Nous avons défini quelles ACE sont mises en œuvres dans chacune des zones du déplacement. Pour cela nous avons observé la durée de réalisation de chaque ACE dans chaque zone (voir Figure 18).

- **Zone de surface**

Dans le trajet-scénario réalisé, la **zone de surface** correspond aux portions de trajets suivantes :

- du point de départ jusqu'à l'arrivée à la bouche de métro
- de la sortie de la bouche de métro jusqu'au point d'arrivée.

En zone d'accès trois ACE sont mises en œuvres : *prendre une décision d'orientation en souterrain* (71,3%), *confirmer-vérifier sa route* (17,2%) et (re) *planifier son itinéraire* (9,0%).

- **Zone d'accès**

La **zone d'accès** correspond à l'environnement souterrain dans la station de métro. Dans le trajet scénario réalisé, cela correspond aux portions de trajets suivantes :

- de l'entrée de la bouche de métro jusqu'à l'arrivée au quai du métro,
- déplacement entre deux quais d'une correspondance à partir du moment où l'on n'est pas sur un quai. Dans le scénario cela correspond à la correspondance imposée par la simulation de l'incident sur la ligne.
- à partir du moment où on quitte le quai jusqu'à la sortie de la station.

En zone d'accès trois ACE sont mises en œuvres : *prendre une décision d'orientation en souterrain* (71,3%), *confirmer-vérifier sa route* (17,2%) et (re) *planifier son itinéraire* (9,0%).

- **Zone de transfert**

La **zone de transfert** correspond à la zone d'attente du véhicule. Dans le trajet scénario réalisé, cela correspond aux portions de trajets suivantes :

- de l'arrivée sur le quai jusqu'au moment où l'on entre dans le véhicule.
- de la descente du véhicule jusqu'à l'entrée en zone d'accès (couloir de la station) pouvant mener soit à une correspondance, soit à une sortie.

La consultation d'information en zone de transfert est nécessaire pour la réalisation de quatre ACE : *prendre une décision d'orientation en souterrain* (20,7%), *confirmer-vérifier sa route* (19,5%), *(re)planifier son itinéraire* (46,0%) et *contrôler le déroulement temporel* (13,8%).

- **Zone de transportation**

La **zone de transportation** correspond à la zone dans le véhicule. Dans le trajet scénario réalisé, cela correspond aux portions de trajets suivantes :

- à partir du moment où l'usager entre dans le métro jusqu'à ce qu'il apprenne l'incident
- voyage dans le second métro puis dans le troisième.

Durant cette étape, la majorité du temps est consacré à une activité annexe au déplacement (écrire un sms, lire, parler avec un ami, etc.).

La consultation d'information en zone de transportation est nécessaire pour la réalisation de cinq ACE : *prendre une décision d'orientation en souterrain* (0,5%), *confirmer-vérifier* sa route (28,0%), *(re)planifier* son itinéraire (40,7%), *contrôler le déroulement temporel* (22,8%) et *intégrer une nouvelle information (7,4%)*.

La consultation d'information concernant l'ACE *intégrer une information inattendue* correspond à l'annonce de l'incident sur la ligne, cela correspond donc à une seule consultation pour chaque participant. L'annonce de coupure de ligne a été faite dans le métro. Le participant est donc obligé de sortir à la station d'après. Il va alors replanifier son trajet sur le quai d'arrivée. Les participants ont pu mettre des temps plus ou moins longs pour élaborer leur itinéraire alternatif.

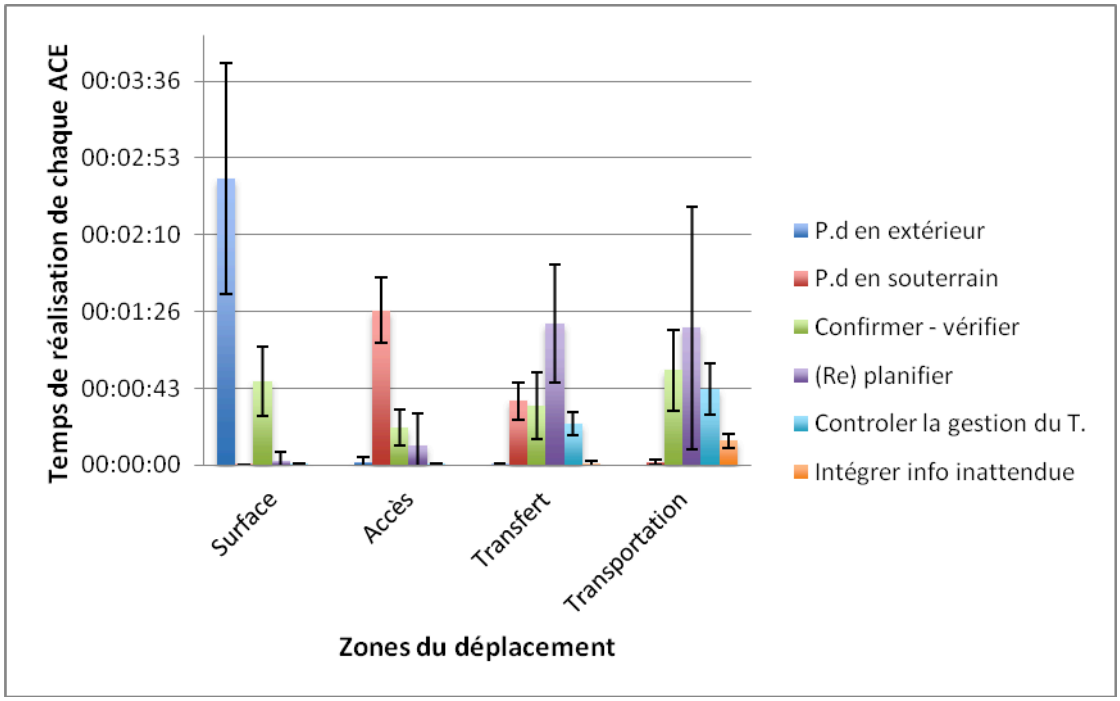


Figure 18. Récapitulatif du temps moyen de réalisation de chaque ACE nécessitant la consultation d'un support d'information dans chacune des zones de déplacement

On peut remarquer que certaines ACE sont mises en œuvre dans plusieurs zones du déplacement, ce qui est le cas l'ACE *(re)planifier* et *confirmer-vérifier* sa route. Ces deux ACE vont être réalisées dans chacune des zones du trajet. Les écarts-types les plus importants (voir Figure 18) sont observables pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* en zone de surface et *(re)planifier* sa route en zone de transportation. Cela signifie que pour ces deux ACE il y a des grandes variations entre les participants sur la façon de réaliser ces différentes activités.

3.3.3. Informations nécessaires pour la bonne réalisation de l'ACE

Nous nous intéressons à présent aux besoins en information nécessaire à la réalisation de chacune des ACE.

Durée de consultation	P. décision extérieur	P. décision souterrain	Confirmer - vérifier	(Re) planifier	Contrôler la gestion du T.	Intégrer une info
Plan métro	0	1,5	30	60	1,8	0
Plan ligne	0	0	15,7	4	52,7	0
Plan quartier	37,1	1,5	25	19	0	0
Plan bus	0	0	2,9	2,8	0	0
Itinéraire transport	0	0	5	8,2	0	0
Itinéraire piéton	5,7	0	1,4	0	0	0
Densité usager	0	3,8	0	0	0	0
Vue quartier	0	0	0	1,9	0	0
Plan liste ligne	0	0,8	5,7	0	0	0
Fléchage ligne	0	52,3	0	0	0	0
Fléchage sortie	0	40,2	0	0	0	0
Nom station	0	0	3,6	6	10,9	0
T. attente	0	0	0	0	32,7	0
Nom rue	31	0	3,6	0	0	0
Lieu connu	9,4	0	4,3	0	1,8	0
Numéro rue	17	0	2,9	0	0	0
Logo métro	0	0	0	0	0	0
Incident	0	0	0	0	0	100

Tableau 11. Récapitulatif du contenu d'information nécessaire à la réalisation de chacun des ACE (en % pour chacune des ACE).

3.3.3.a) Prendre une décision d'orientation en extérieur

L'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* se déroule exclusivement en zone de surface. Cette ACE consiste à naviguer en environnement urbain extérieur, grâce à trois moyens différents définis par Allen (1999) : la recherche de l'orientation, le pilotage entre des points de repères (ex. nom de rue) et la référence à une carte cognitive ou une carte papier/application smartphone, permettant de rendre cohérents la représentation mentale et l'environnement perçu. Pour mettre en œuvre ces trois moyens de navigation en extérieur, différentes informations sont utilisées par les participants. Nous avons calculé le pourcentage moyen de chacune des informations utilisées.

Pour le bon déroulement de l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* le contenu d'information pris est le suivant : les noms de rues (31%) les numéros de rue (17%), le plan de quartier (37,1%), l'utilisation de lieu connu comme repère sur sa route (9,4%) et l'itinéraire piéton (post-it réalisé pendant la phase de préparation avec les instructions de guidage) 5,7%. L'information « plan de quartier » peut être consultée sur un plan papier ou bien sur smartphone avec l'application Google Maps. Il y a deux façons distinctes de se déplacer, selon que l'on prépare ou non l'itinéraire piéton. Lorsque l'itinéraire est préparé, les participants ont une représentation mentale du trajet : ils vont prendre les informations dans l'environnement pour faire correspondre cette représentation mentale à l'environnement réel et ainsi pouvoir déterminer la bonne route à suivre. En revanche, ceux qui n'ont pas préparé utilisent un plan de quartier. Les informations prises dans l'environnement (nom de rue, numéro et lieu connu) vont permettre de faire le lien entre la carte et l'environnement afin qu'ils puissent déterminer eux aussi la bonne route à suivre.

3.3.3.b) Prendre une décision d'orientation en intérieur

La consultation de supports d'information pour l'activité de prise de décision d'orientation en intérieur se déroule exclusivement en environnement intérieur (station de métro). Les informations les plus consultées pour cette activité sont les panneaux de la station avec en particulier le fléchage de ligne (52,3%) et le fléchage de sortie (40,2%). Certains participants ont également verbalisé lors de l'entretien, qu'ils utilisaient des informations telle que la densité

d'usager (3,8%) présents sur les quais et dans les couloirs afin de déterminer un itinéraire avec moins d'affluence possible, quitte à faire un peu plus de trajet piéton.

Lorsque cette ACE se déroule entre la zone de transportation vers la zone de transfert, l'on est soit dans le cas d'une correspondance, le participant va réaliser l'ACE *prise de décision d'orientation* en suivant le fléchage de ligne. Soit l'on est dans le cas de la recherche d'une sortie, permettant de rejoindre la zone de surface. Pour trouver la bonne sortie à suivre, un plan de quartier est à disposition sur les murs, au niveau de la zone de transfert (quai). Au cours du trajet, la moitié des participants (11 sur 22) vont prendre le temps de regarder ce panneau du plan de quartier se trouvant sur le quai (1,5% du temps de consultation).

3.3.3.c) Confirmer-vérifier

- **En zone de surface**

L'ACE *confirmer-vérifier* sa route consiste à prendre une information permettant de confirmer un choix réaliser au cours du trajet ou lors de la préparation. Les consultations d'information nécessaire pour l'ACE confirmer-vérifier, concernent tout d'abord un choix d'orientation venant d'être défini. Nous avons pu observer que les consultations relatives à la vérification d'un choix d'orientation ont lieu à deux moments précis, soit lors d'une longue route droite ou juste après une intersection. Les informations utilisées pour cette ACE peuvent être des lieux-repères (4,3%), les numéros de rue (2,9%), les noms de rue (3,6%), le plan de quartier (25%)

Le besoin de confirmation peut également être relatif à la planification du trajet. Lors du trajet piéton en zone ouverte pour aller du point de départ à la bouche de métro, 15 participants sur 22 en ont profité pour vérifier s'ils avaient choisi le meilleur itinéraire de transport possible en regardant un plan de métro.

- **En zone d'accès**

L'ACE *confirmer-vérifier* se déroule à différents moments en zone d'accès. Tout d'abord, la *confirmation-vérification* a lieu au moment où la personne entre dans la station de départ mais également au moment de la correspondance après la replanification suite à l'incident simulé. La station de départ comprend deux lignes différentes et la station de correspondance également. Le participant peut être amené à vérifier la ligne qu'il doit prendre afin de suivre le bon fléchage. 16,1% du temps de l'ACE *confirmer-vérifier* est passé à vérifier l'itinéraire de transport grâce à la consultation d'un plan de métro.

L'ACE *confirmer-vérifier* a également lieu chaque fois qu'un participant s'apprête à entrer en zone de transfert (quai). A partir de ce point de réorientation où il a le choix entre deux quais, tous les participants (22 participants sur 22) ont cherché à vérifier que la direction à suivre est la bonne en consultant le panneau « plan liste ligne » (5,7%) et être sur de se diriger du bon côté du quai.

Figure 19. Prise de vue de l'information « plan liste ligne ».

- **En zone de transfert**

L'ACE *confirmer-vérifier*, est visible au moment de l'arrivée entre la zone d'accès et la zone de transfert. Le temps d'attente d'un véhicule est un moment de creux de l'activité de déplacement qui est bien souvent utilisé à mettre en œuvre une activité annexe (lecture, jeux, etc.). Lorsque la personne est à l'arrêt, elle peut également en profiter pour vérifier son itinéraire. Cela a été

particulièrement observable après la situation où le participant est confronté à l'incident du scénario, l'obligeant à (re)planifier son itinéraire. La personne va profiter du temps d'attente du véhicule de sa correspondance pour vérifier si l'itinéraire alternatif établi est optimal en consultant un plan de métro (30%). Elle peut également vérifier son itinéraire piéton en consultant un plan de quartier (25%) afin d'anticiper le déplacement piéton en zone ouverte. Le plan de quartier est consulté soit sur un panneau se trouvant sur le quai, soit sur un plan papier soit en utilisant l'application Google Maps sur le smartphone (l'application Google Maps, ne fonctionne pas ou très peu en souterrain).

- **En zone de transportation**

Dans le métro, l'ACE *confirmer-vérifier* implique la consultation du plan de ligne que l'on trouve affiché dans le véhicule (15,7% de la durée de consultation de l'ACE) et du nom de station (21,9%). Ces deux informations sont utiles au participant pour vérifier s'il s'engage bien dans le bon sens du métro. La vérification du sens de marche du véhicule va être réalisée de sorte que le participant ait pu mettre en adéquation le plan de ligne et le nom de la station par lesquelles le métro est en train de passer. Cette ACE mise en œuvre dans cette situation est illustrée par le verbatim suivant :

« Je regarde la ligne, pour savoir les deux stations qui entourent celle ou je suis… pour savoir si je vais partir dans le bon sens de la marche. Je vérifie donc le sens de la marche, mais qui ne me sera confirmé qu'à la prochaine station. »

Si l'on observe le Tableau 11, on peut constater que le contenu d'information consulté pour l'ACE *confirmer-vérifier* est le plus varié. En effet pour observé jusqu'à douze contenus d'informations différents.

3.3.3.d) (Re) planifier

L'ACE *planifier* se déroule dans toutes les zones du déplacement et plus particulièrement en zone de transfert et de transportation.

- **Zone de transfert**

L'annonce d'incident est réalisée dans le métro (zone de transportation) et la replanification d'itinéraire se déroule sur le quai (zone de transfert), une fois sorti du métro. Le participant qui a commencé sa planification en zone de transfert, la poursuit brièvement en zone d'accès tout en commençant à se déplacer vers la correspondance de métro qu'il doit prendre pour se rendre à destination.

- **Zone de transportation**

Dans le métro, le participant a du temps puisqu'il n'est pas occupé à se déplacer physiquement. Il va profiter de cette pause juste après l'annonce de l'incident, pour étudier les différentes possibilités de trajet qui lui sont encore possible de réaliser.

Pour mener à bien cette ACE de replanification, différents contenus d'information sont nécessaires : le plan du métro (60%), un plan de quartier (19%), un plan de ligne (4%), l'itinéraire en transport (8,2%), un plan de bus (2,8) ou encore une vue de quartier (1,9%).

3.3.3.e) Contrôler le déroulement temporel

- **En zone de transfert**

Une fois arrivé au quai, le participant contrôle le déroulement temporel de son trajet en consultant le temps d'attente sur le panneau prévu à cet effet sur le quai. Le panneau indique le temps d'attente restant jusqu'à l'arrivée du prochain métro. Pour cette ACE dans cette zone 100% des consultations concernent le temps d'attente.

- **En zone de transportation**

L'ACE *contrôler le déroulement temporel* implique la consultation de deux informations, la première, le plan de ligne (52,7% du temps de consultation de l'ACE) ce qui permet au participant de suivre la progression du véhicule, la seconde, le nom de la station (10,9% du temps de consultation). Le nom de la station est consulté à travers les fenêtres du véhicule au moment de l'arrêt à une station. La consultation par intermittence entre le plan de ligne et le nom des stations permet au participant de

connaître le nombre de stations restantes jusqu'à ce qu'il descende et ainsi d'estimer le temps qui lui reste afin de pouvoir anticiper sa sortie.

3.3.3.f) Intégrer une information supplémentaire inattendue

L'ACE intégrer une information supplémentaire est relative à l'annonce de l'incident. Cette annonce est la seule information vocale (réalisée par l'expérimentateur) sur le trajet.

Dans le scénario de l'étude, l'annonce de l'incident est faite dans le métro, le participant est obligé de descendre sur le quai (zone de transfert). A partir de ce moment là, il doit trouver un trajet alternatif à celui initialement prévu. Le participant va alors consulter un plan de métro (100% du temps de consultation pour l'ACE planifier) afin de définir son nouvel itinéraire.

3.3.3.g) Activité annexe au déplacement

Durant le temps où le participant est dans le véhicule, il est à l'arrêt et bien qu'il surveille de temps à autre la progression de son trajet, cela lui laisse du temps pour réaliser une activité annexe (exemple : lire un livre) mais également continuer à étudier la planification de son itinéraire en transport (surtout après l'annonce d'incident) à l'aide d'un plan de métro (79,6%) et du plan de ligne pour visualiser les correspondances possibles (13%) ou bien encore l'itinéraire piéton qu'il aura à faire en arrivant en zone ouverte en consultant un plan de quartier (7,5%).

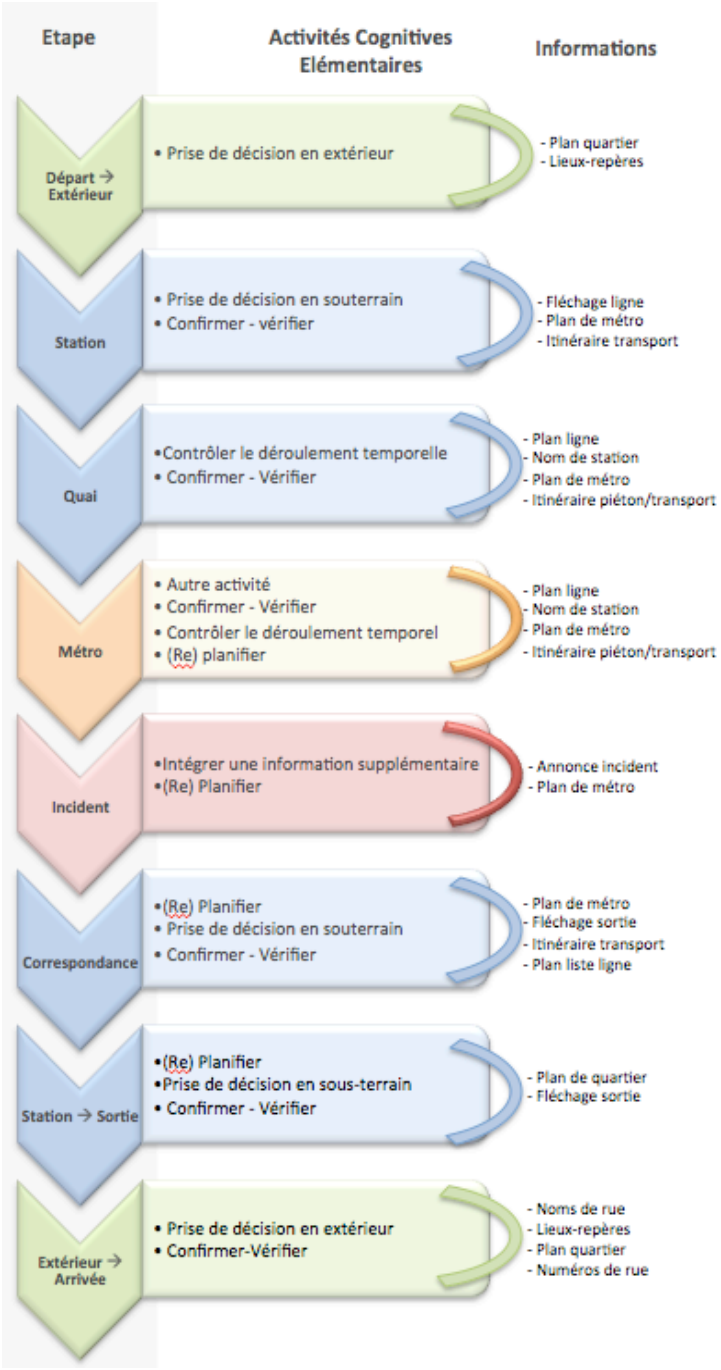


Figure 20.Schéma récapitulatif des ACE mises en œuvre pendant le trajet scénario à chaque étape ainsi que les informations consultées.

3.3.4. Performance de l'activité de déplacement relative à la consultation d'informations visuelles

Nous avons pu identifier dans la section précédente les différents besoins en information dans les quatre zones du déplacement ainsi que les ACE qui y sont liées. Nous allons maintenant nous intéresser à l'effet de la consultation de supports d'informations visuelles sur la performance de réalisation de l'activité de déplacement. Pour mesurer cette performance nous regardons plus précisément deux critères : l'allure de déplacement et l'issue de l'ACE pour laquelle la consultation d'information est nécessaire.

Dans cette partie, nous ne nous intéressons pas à l'ACE « intégrer une nouvelle information » car dans le scénario de déplacement, l'information liée à cette ACE est auditive (haut-parleur dans le

métro). Nous nous intéressons exclusivement aux consultations d'informations réalisées à partir d'un support visuel.

3.3.4.a) Effet de la consultation d'information visuelle relative à chaque ACE sur l'allure de déplacement

Le graphe ci-dessous (Figure 21) présente le temps moyen de consultation relatif à chacune des ACE en allure normale et en allure dégradée.

Les deux ACE pour lesquelles le temps en allure dégradée est le plus important sont *la prise de décision en extérieur* et la *(re)planification*. Cela représente respectivement pour chacune 48,5% et 53% du temps moyen de consultation. L'ACE *prendre une décision en souterrain* et l'ACE *confirmer-vérifier* sont associées elles aussi à une dégradation de l'allure lors de la consultation d'un support d'information. Pour *prendre une décision d'orientation en souterrain* l'allure dégradée représente 39,5% du temps moyen total et pour *confirmer-vérifier*, cela représente 22,5%. L'ACE *contrôler le déroulement temporel* n'est pas associée à une dégradation de l'allure. Les deux moments pendant lesquels cette ACE est réalisée sont d'une part sur le quai pour connaître le temps d'attente de son transport ou bien dans le métro afin de ne pas rater sa station de destination. Dans ces deux cas, le participant se trouve en « arrêt attente », de façon imposée ce qui n'est donc pas considéré comme une allure dégradée.

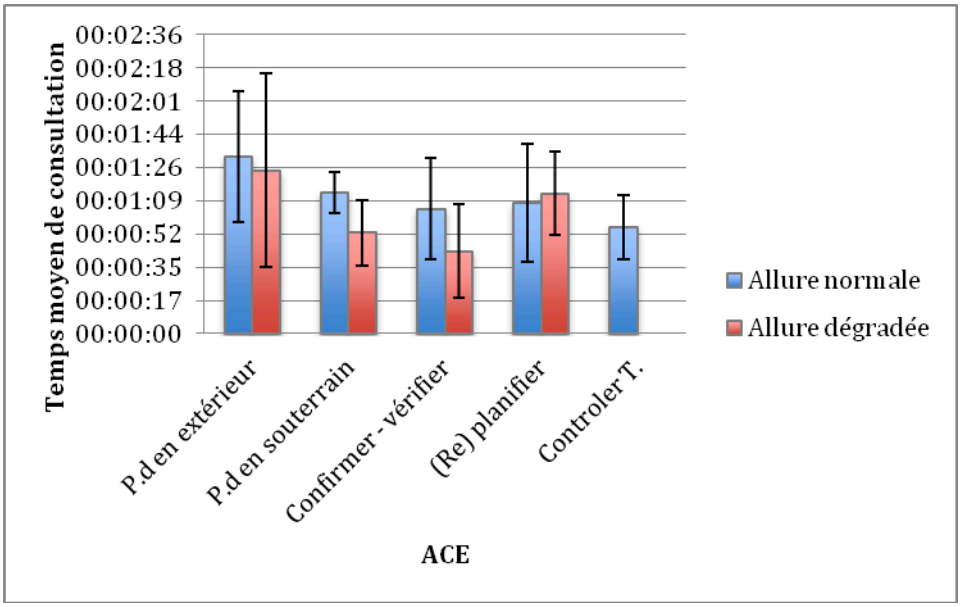


Figure 21. Temps moyen de réalisation de chacune des ACE en allure normale et en allure dégradée pour l'ensemble des participants.

De manière générale l'incidence de la consultation d'informations visuelles entraine une allure dégradée sur 38,8% du temps de consultation moyen total.

3.3.4.b) Incidence de la consultation d'informations visuelles relative à chaque ACE sur l'issue de l'ACE

Le graphe ci-dessous (Figure 22) présente le nombre moyen de consultations pour chacune des ACE selon l'issue de cette dernière. Cette issue peut être positive ou négative.

De façon globale, nous pouvons observer que le nombre de consultations entrainant une issue négative est assez faible pour l'ensemble des ACE : 12,2% des consultations ont une issue négative.

Le nombre de consultations entrainant une issue négative est le plus élevé pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en souterrain* (21,2% d'issues négatives), ensuite vient l'ACE *(re)planifier* (17,7%), *prendre une décision en extérieur* (10,4%) et enfin *confirmer-vérifier sa route* (9,3%). La consultation relative à l'ACE *contrôler le déroulement temporel* n'a jamais entrainé d'issue négative.

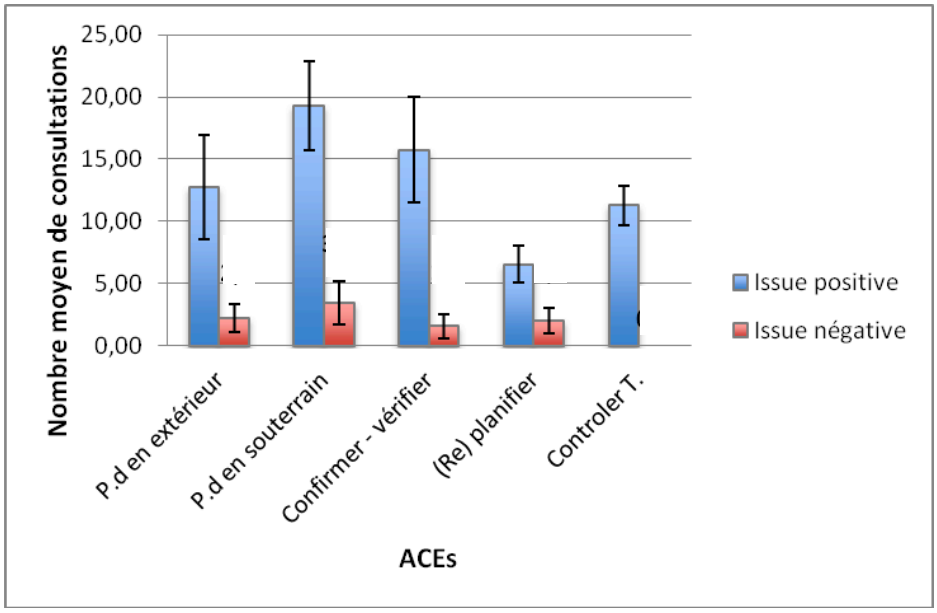


Figure 22. Nombre moyen de consultations ayant entrainé une issue de l'ACE positive ou négative pour l'ensemble des participants.

De manière générale l'incidence de la consultation d'informations visuelles entraine une issue négative de la consultation d'information pour sur 12,2% du nombre de consultation moyen total.

Le tableau suivant récapitule l'incidence de la consultation d'un support d'information visuelle sur l'allure de déplacement et l'issue de l'ACE :

ACE	% temps allure dégradée	% issues négatives
P. décision extérieur	48,5	10,4
P. décision souterrain	39,5	21,2
(Re) planifier	53	17,7
Confirmer - vérifier	22,5	9,3
Contrôler T.	0	0,4
Intégrer info	0	0
TOTAL	**38,8**	**12,2**

Tableau 12. Récapitulatif du temps consultation moyen à allure dégradée et du nombre moyen d'issues négatives pour chacune des ACE.

3.3.5. Effet de l'utilisation du smartphone sur la performance de l'activité de déplacement

A présent nous nous intéressons de façon plus précise à l'impact de l'utilisation du smartphone sur la performance de déplacement.

3.3.5.a) Effet de l'utilisation du smartphone sur le temps de consultation d'information pour chaque ACE

Hypothèse 5.1 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation de la durée de consultation d'information et du nombre.

Le temps moyen de consultation globale est pour le groupe avec smartphone de 13 minutes et 7 secondes, et pour le groupe sans smartphone de 9 minutes et 11 secondes. La différence entre les deux est significative (p=0,038). Utiliser un smartphone entraine donc bien une augmentation du temps de consultation.

Les augmentations significatives de temps de consultation dans le groupe smartphone concernent les ACE *confirmer-vérifier* (p=0,008), et *(re)planifier* (p=0,038).

En revanche, pour l'ACE *contrôler le déroulement temporel*, le temps de consultation est supérieur dans le groupe sans smartphone (p=0,018).

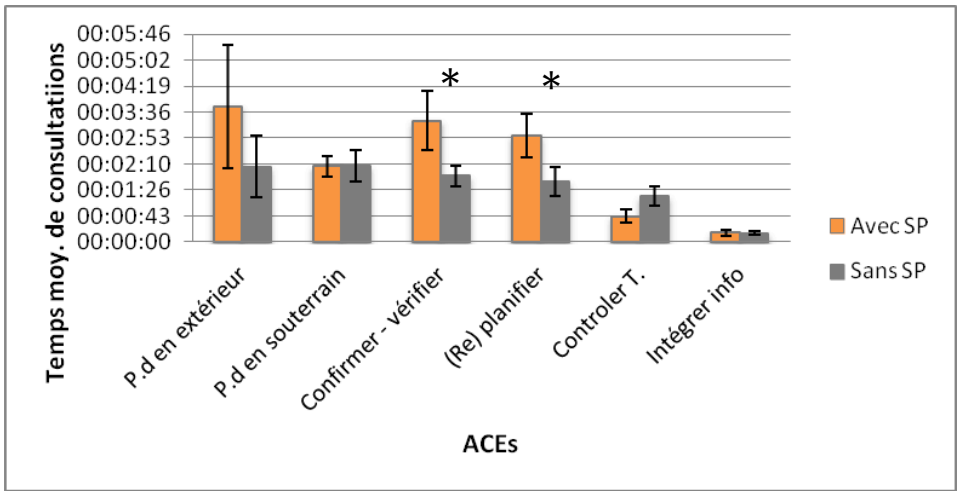


Figure 23. Comparaison du temps moyen de consultations d'information liées à chacune des ACE pour les participants avec ou sans smartphone (SP).

3.3.5.b) Effet de l'utilisation du smartphone sur le nombre de consultations d'un support d'information

Hypothèse 5.2 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation du nombre de consultation d'information.

Pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* le nombre de consultations est supérieur pour le groupe avec smartphone (p=0,013).

En revanche, pour l'ACE *contrôler le déroulement temporel*, le nombre de consultations est supérieur dans le groupe sans smartphone (p=0,037).

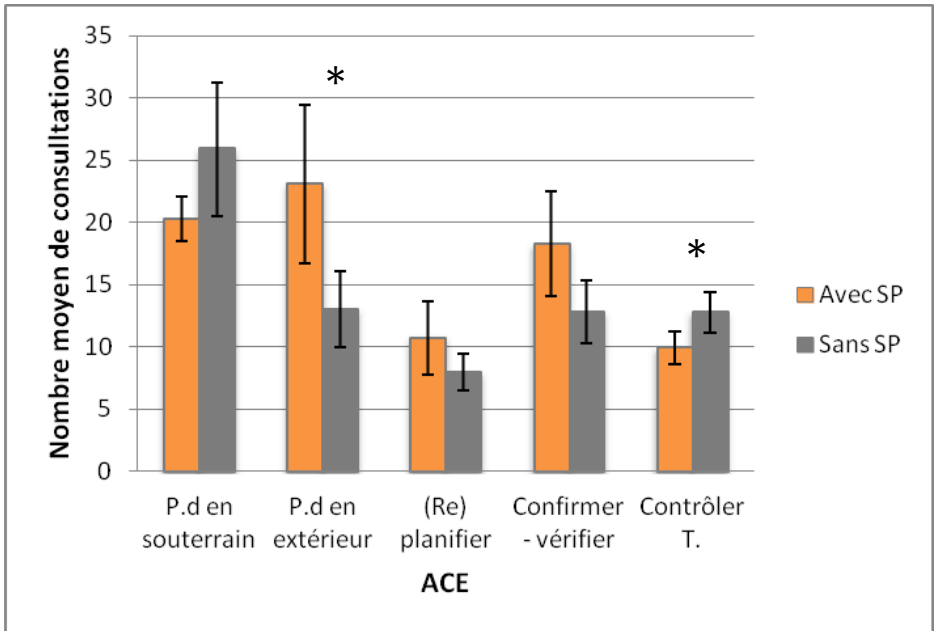


Figure 24. Comparaison du nombre moyen de consultations d'information dans les groupes avec et sans smartphone.

3.3.5.c) Effet de l'utilisation du smartphone sur l'allure de déplacement pour chaque ACE

Hypothèse 5.3 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation du temps de déplacement effectué à allure dégradée.

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes pour les temps de déplacement en allure dégradée associés aux ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* et *prendre une décision d'orientation en souterrain*. Cependant pour ces deux ACE les temps de déplacement en allure dégradée indiquent des écart-types importants.

En revanche pour l'ACE *planifier*, le fait d'utiliser un smartphone augmente le temps de déplacement en allure déradée (p=0,044).

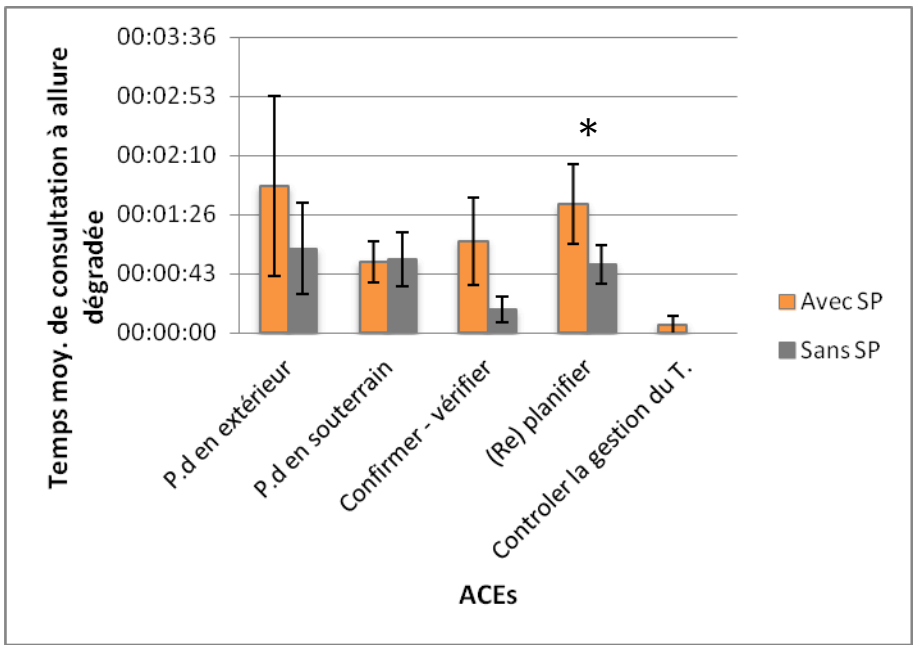


Figure 25. Comparaison du temps en allure dégradée associé à chacune des ACE pour les participants utilisant ou non un smartphone (SP)

3.3.5.d) Effet de l'utilisation du smartphone sur l'issue de la consultation d'un support d'information relatif à chaque ACE

Hypothèse 5.4 : L'utilisation du smartphone va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'information dont l'issue est négative.

Le nombre de consultations dont l'issue est négative est plus élevé dans le groupe avec smartphone pour l'ACE *prendre une décision en extérieur* (p=0,007).

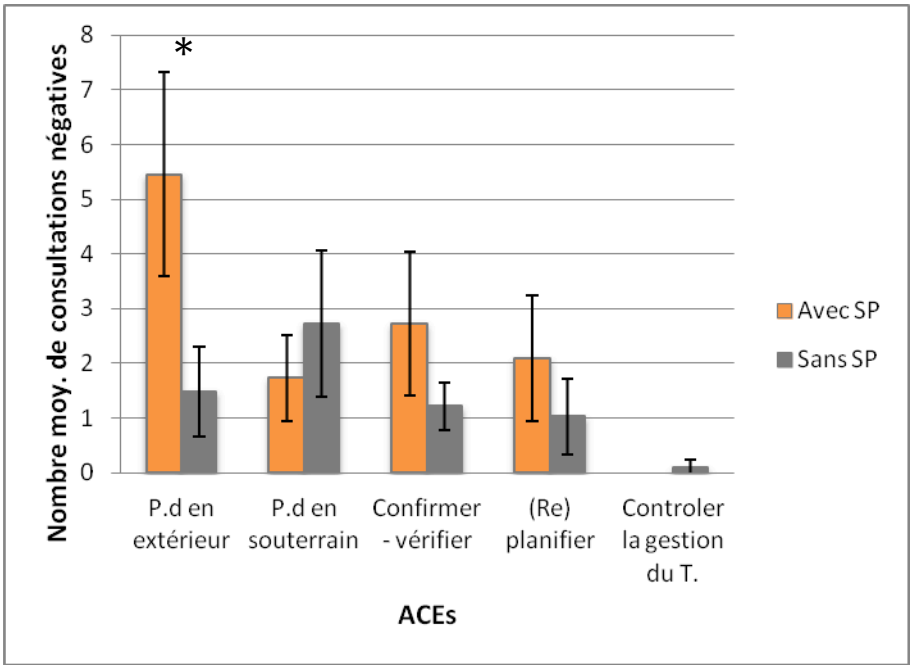


Figure 26. Comparaison du nombre moyen de consultations ayant entrainé une issue négative pour chacune des ACE pour les participants avec et sans smartphone.

En résumé, l'utilisation d'un smartphone augmente significativement :

- le temps passé à la recherche d'informations,
- le nombre de consultations d'information pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur*,
- le temps en allure dégradée pour l'ACE *(re)replanifier*
- le nombre de consultations entrainant une issue négative pour l'ACE prendre une décision d'orientation en extérieur.

Ainsi, il apparait que l'utilisation du smartphone isolé aboutit à des résultats paradoxalement négatifs concernant l'aide au déplacement piéton. Le smartphone est parfois considéré comme « une béquille qui fait boiter ».

Cependant, nous formulons l'hypothèse que le smartphone puisse trouver sa place dans un dispositif plus complexe d'assistance au déplacement piéton. Dans le cadre de ce dispositif, non seulement les effets négatifs du smartphone sur le déplacement pourraient être gommés, mais le dispositif pourrait au contraire réduire le temps global de déplacement, réduire le temps de déplacement en allure dégradée et réduire le nombre de consultations d'informations ayant une issue négative. Dans cette hypothèse, L'usager doit pouvoir arriver à destination plus vite, moins stressé, en ayant obtenu efficacement des informations pour guider son trajet.

3.3.6. Effet du profil usager sur la performance de l'activité de déplacement

3.3.6.a) Effet du profil usager sur le temps de consultation d'un support d'information pour chaque ACE

Hypothèse 6.1 : Un niveau faible en ce qui concerne la connaissance du trajet et du réseau va entrainer une augmentation de la durée de consultation d'information.

Les résultats montrent l'absence de différence de temps de consultation d'information entre les usagers réguliers et occasionnels.

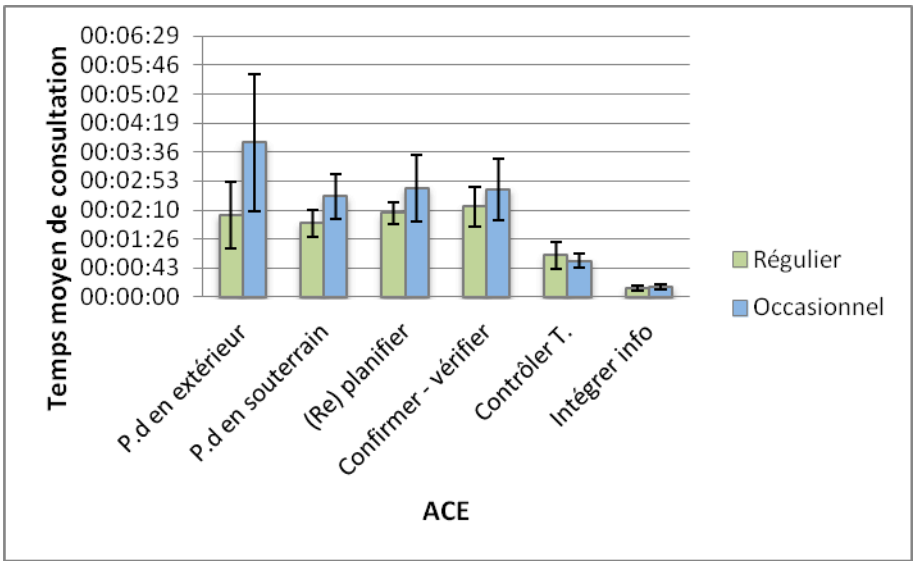


Figure 27. Comparaison du temps moyen de consultations d'information liées à chacune des ACE pour les participants réguliers et occasionnels.

3.3.6.b) Effet du profil usager sur le nombre de consultations d'un support d'information pour chaque ACE

Hypothèse 6.2 : Un niveau de connaissance du trajet et du réseau faible va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'informations.

Ici encore, les résultats montrent l'absence de différence du nombre de consultations d'un support d'information entre les usagers réguliers et occasionnels.

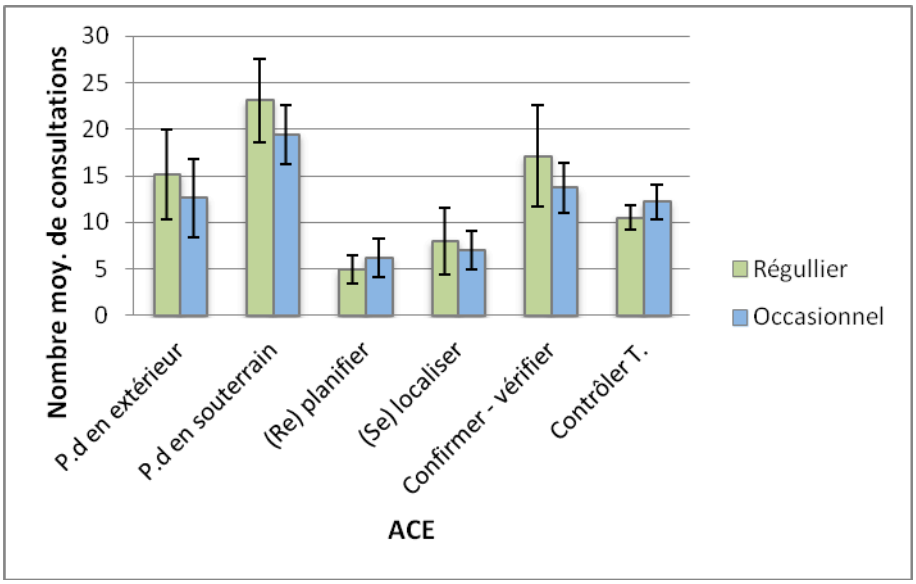


Figure 28. Comparaison du nombre moyen de consultation d'information pour les groupes réguliers et occasionnels.

3.3.6.c) Effet du profil usager sur l'allure de déplacement pour chaque ACE

Hypothèse 6.3 : Un niveau faible en ce qui concerne la connaissance du trajet et du réseau va entrainer une augmentation de la durée de déplacement à allure dégradée.

Pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur*, nous observons un temps en allure dégradée plus important pour le groupe usagers occasionnels que pour le groupe usagers réguliers. Cette différence est significative (p=0,038).

Le temps de trajet global en allure dégradée est significativement plus important pour le groupe usagers occasionnels que pour le groupe usagers réguliers (p=0,044).

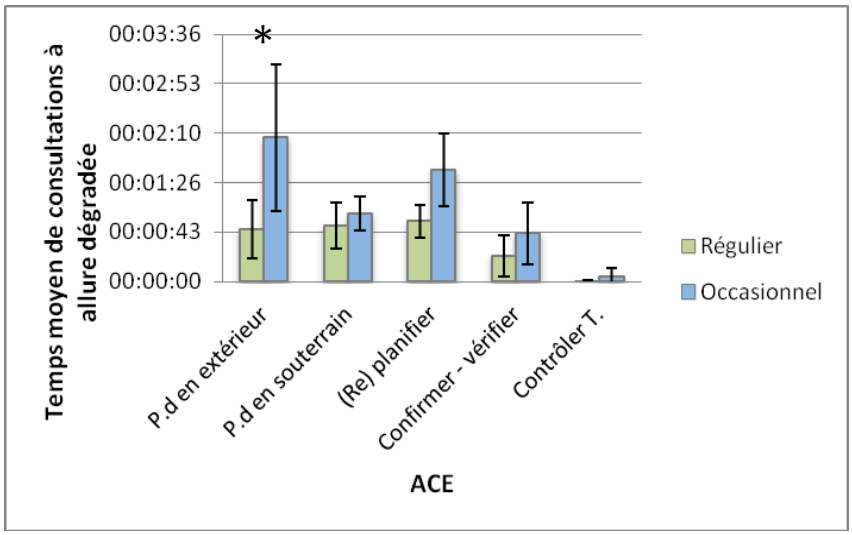


Figure 29. Comparaison du temps moyen de réalisation de chacune des ACE en allure dégradée pour les participants réguliers et occasionnels.

3.3.6.d) Effet du profil usager sur l'issue de la consultation d'information pour chaque ACE

Hypothèse 6.4 : Un niveau faible de connaissance du trajet et du réseau va entrainer une augmentation du nombre de consultations d'information dont l'issue est négative.

Nous observons que pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* le nombre de consultations dont l'issue est négative est plus important pour le groupe usagers occasionnels que pour le groupe usagers réguliers. Cette différence est significative (p=0,034).

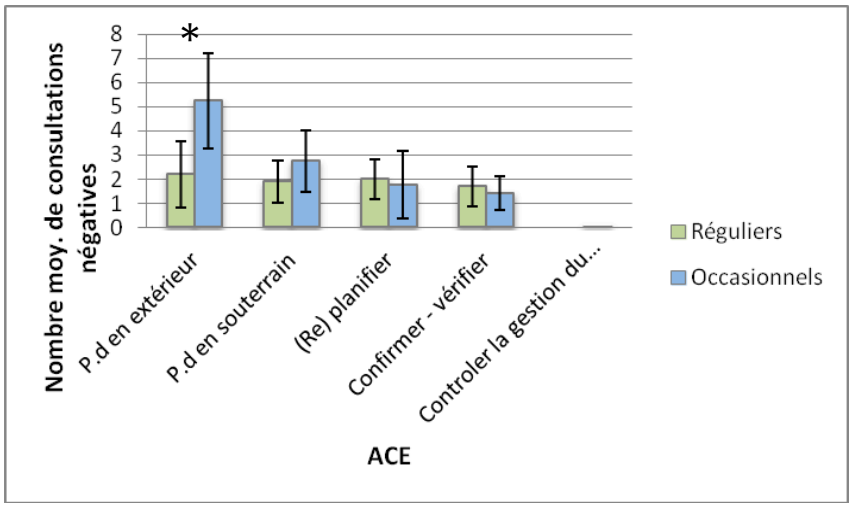


Figure 30. Comparaison du nombre moyen de consultations ayant entrainé une issue négative pour chacune des ACE pour les usagers réguliers ou occasionnels.

Pour conclure, le fait de ne pas bien connaître le réseau/le trajet augmente significativement :

- le temps en allure dégradée de façon globale et en particulier pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur*

- le nombre de consultations entrainant une issue négative pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur.*

4. Synthèse et conclusion

4.1. Traduction des besoins en exigences fonctionnelles

Pour la suite de la conception il était nécessaire de traduire les besoins conscients et sous-jacents des utilisateurs vis à vis d'un dispositif d'aide pour l'activité de déplacement piéton urbain. Pour cela nous nous sommes appuyés d'une part sur l'étude exploratoire et d'autre part sur l'étude d'activité de déplacement.

Pour l'étude exploratoire nous avons retenu trois points principaux :

- l'importance de l'aspect hédoniste du déplacement
- la volonté d'avoir une information personnalisée
- l'importance de pouvoir obtenir des informations adaptées en cas de replanification imprévue d'itinéraire.

L'étude de l'activité de déplacement nous a permis d'examiner les différents processus mis en œuvre pendant le déplacement, désignés par le terme Activités Cognitives Elémentaires (ACE). Ces ACE demandent la consultation de supports d'information pour leur bonne réalisation. Nous avons spécifié les fonctions du futur dispositif d'aide à travers ces différentes ACE. Les deux ACE *prendre une décision d'orientation* correspondent à la fonction GUIDER qui donne les directions d'orientation à suivre. L'ACE *vérifier-confirmer* correspond d'une part à la fonction RASSURER en permettant à l'utilisateur d'être rassuré à la demande tout au long de sa route. D'autre part cette ACE s'inscrit dans la fonction ALERTER, en envoyant un message à l'utilisateur au cas où il commence à s'engager sur la mauvaise route. L'ACE *contrôler le déroulement temporel*, correspond également à la fonction ALERTER en envoyant un message à l'utilisateur pour le prévenir de la montée et descente de son véhicule. L'ACE *Intégrer une information supplémentaire inattendue* correspond à la fonction ALERTER et se décline en deux messages : « être alerté d'un point d'intérêt » et « être alerté de l'indisponibilité d'un équipement réseau ».

ACE	Fonctions	Messages délivrés par le dispositif	N°
Prendre une décision d'orientation en extérieur	**GUIDER**	→Donner les directions d'orientations	m.0
Prendre une décision d'orientation en intérieur			
Vérifier - Confirmer	**RASSURER**	→ Rassurer l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route	m.1
		→ Alerter quand l'usager se trompe de route	m.2
Contrôler le déroulement temporel	**ALERTER**	→ Alerter l'usager de la montée et/ou de la descente de son véhicule de transport	m.3
Intégrer une information supplémentaire inattendue		→ Alerter d'un incident / accident (plus ou moins grave par rapport à la suite de son itinéraire)	m.4
		→ Alerter sur l'indisponibilité des équipements réseaux sur son trajet	m.5
Réaliser une activité annexe	**SIGNALER**	→ Signaler un point d'intérêt	m.6
		→ Signaler une info culturelle/ludique	m.7
(Re) Planifier	**PLANIFIER**	→ Aider à la planification	
		→ Choisir de passer par un ou plusieurs points précis du réseau en fonction de la situation	
		→ Choisir d'éviter ou non un point de passage	
		→ Choisir la marche ou le nombre de changements	

Tableau 13. Récapitulatif des fonctions du dispositif futur issues de l'analyse des besoins.

L'analyse fonctionnelle des besoins ne vise pas à décrire la solution technique pour répondre au besoin, c'est-à-dire la manière, dont les fonctions seront concrètement réalisées par l'artefact. Il s'agit de préciser ce que l'artefact fera et non son fonctionnement (Aoussat, 1996).

4.2. Traduction des besoins en exigences interactionnelles

Une spécificité du projet TICTact est d'être de type technology-push, c'est à dire que le concept initial intègre explicitement la possibilité d'utiliser l'interaction haptique pour assister les déplacements en milieu urbain. Nous nous sommes ainsi intéressés par la suite à l'allocation modale (André, 2000).Ce terme désigne l'utilisation spécifique d'une ou plusieurs modalités pour présenter une information. Il est souhaitable pour l'utilisateur de prévoir une allocation modale optimale compte-tenu des contraintes à la fois techniques, liées à l'activité de déplacement (connaissance des différentes ACE) ou encore humaines (ex. caractéristiques perceptives, expertises, etc.). (Férey, et al., 2009).

Proposer des principes d'allocation modale implique de privilégier certaines associations information-modalité. Cependant, on ne dispose pas *a priori* de spécifications ergonomiques concernant l'allocation modale des informations pour ce type d'activité. En effet, bien que la recherche sur la conception d'Interfaces Homme-Machine multimodales ait débuté il y a plusieurs décennies, rares sont les travaux qui proposent des principes robustes pour choisir telle modalité de présentation pour tel type d'information (Férey, et al., 2009). Il est cependant possible de formuler des hypothèses permettant de spécifier la modalité sensorielle la plus adaptée à une information en s'appuyant d'une part sur la façon dont les sujets humains traitent l'information et, d'autre part et encore plus fortement, sur les exigences fonctionnelles mises en évidence par l'analyse de l'activité.

Nous avons ainsi sélectionné plusieurs fonctions qui nous ont paru éligibles pour la modalité haptique. Une revue de la littérature sur la modalité haptique nous a permis de constater que cette modalité était efficace pour attirer l'attention de l'utilisateur et pour donner des informations simples de type alerte, information de changement de direction, confirmation de trajet correct, information au cours du trajet.

Ainsi, la conception de la partie haptique du dispositif sera basée sur les activités, relatives aux trois fonctions d'assistance suivantes : guider, réassurer, alerter-informer.

Les détails de l'allocation modale de chaque fonction du dispositif futur sont énumérés ci-dessous :

- La modalité haptique est efficace pour attirer l'attention et transmettre des informations simples ; on peut ainsi l'utiliser pour les fonctions ALERTER et SIGNALER en les complétant avec des informations visuelles sur le smartphone.
- La modalité haptique permet également de donner des directions d'orientation ; nous allons donc pouvoir l'utiliser pour la fonction GUIDER. (Heikkineinn, 2009)
- La modalité haptique permet de donner des informations touchant à l'aspect émotionnel et affectif, il est donc judicieux de l'utiliser pour la fonction RASSURER.
- La fonction planification devant fournir à l'utilisateur des informations trop complexes, il ne serait pas facile de les communiquer avec la modalité haptique. Nous avons fait le choix d'utiliser pour cette fonction la modalité visuelle.

Fonctions	Messages délivrés par le dispositif à l'utilisateur	Modalités sensorielles éligibles		N°
		Visuelle	Haptique	
GUIDER	→ Directions d'orientations	x	**X**	m.0
RASSURER	→ Rassurer l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route	x	**X**	m.1
	→ Alerter quand l'utilisateur se trompe de route	**-**	**X**	m.2
ALERTER	→ Alerter de la montée et/ou de la descente de son véhicule de transport	**-**	**X**	m.3
	→ Alerter d'un incident / accident (plus ou moins grave par rapport à la suite de l'itinéraire)	**X**	**X**	m.4
	→ Alerter sur la disponibilité des équipements réseaux sur le trajet	**X**	**X**	m.5
SIGNALER	→ Signaler un point d'intérêt	**X**	**X**	m.6
	→ Signaler une info culturelle/ludique	**X**	**X**	m.7
PLANIFIER	→ Aider à la planification	**X**	**-**	

Tableau 14. Récapitulatif des fonctions du dispositif issues de l'analyse des besoins ainsi que des modalités sensorielles d'interaction éligibles pour le dispositif futur.

V. PARTIE EMPIRIQUE n°2. Conception de l'interaction : signification haptique des fonctions d'aide au déplacement

1. Contexte et objectifs

Cette seconde partie empirique a été menée afin de répondre à notre seconde question de recherche à savoir, comment concevoir une interaction haptique qui ait du sens pour l'activité de déplacement. Elle vise à concevoir une nouvelle forme d'interaction pour traduire les fonctions du dispositif d'aide au déplacement pour lesquelles il semble pertinent d'utiliser la modalité haptique : GUIDER, RASSURER, ALERTER, SIGNALER. Cette partie permettra également de produire des connaissances sur la conception d'un langage facile à comprendre et les conditions et les critères d'un langage haptique performant adapté à l'activité.

Cette partie empirique se découpe en trois étapes :

- Elaboration du concept de dispositif d'aide

- Conception de l'interaction par la métaphore des fonctions

- Etude de l'intérêt d'un jingle vibratoire

Chacune des étapes comprend une succession d'expérimentations que nous avons synthétisées dans le tableau suivant (Tableau 15) :

Etapes	Objectif	Méthode	Résultats
1. Elaboration du concept	1.1. Générer des idées de concept d'un système d'aide permettant d'assurer les fonctions haptiques spécifiées dans le cahier des charges fonctionnelles	Séances de créativité en groupe 26 participants	30 idées de concept
	1.2. Sélectionner le concept de système le plus adapté à l'activité de déplacement	Evaluation par inspection basée sur des documents 4 participants	Concept d'interaction potentiellement adapté à l'activité de déplacement
2. Conception de l'interaction par la métaphore des fonctions	2.1. Recueillir des métaphores correspondant aux différentes fonctions du dispositif d'aide allouées au bracelet	Séances de créativité individuelles 24 participants	Grand nombre de métaphores correspondant à chacune des fonctions d'aide
	2.2. Sélectionner les métaphores les plus pertinentes pour chaque fonction allouée au bracelet	Questionnaire en ligne 104 participants	21 métaphores (entre 2 et 4 par messages)
	2.3. Créer des motifs vibratoires pour chacune des fonctions en se basant sur l'utilisation des métaphores	Séances de créativité individuelles avec prototype fonctionnel 25 participants	Idées de motifs vibratoires correspondant à chacune des métaphores
	2.4. Définir les paramètres saillants pour chacun des motifs vibratoires et sélectionner le motif le plus représentatif pour chacune des métaphores	Tri des cartes avec prototype fonctionnel 29 participants	21 motifs vibratoires correspondant à chacune des métaphores
	2.5. Vérifier si les motifs vibratoires sont reconnus après un court apprentissage et évaluer la satisfaction des utilisateurs par rapport à ce langage d'interaction	Evaluation en mobilité en laboratoire avec prototype fonctionnel 25 participants	Taux de reconnaissance des motifs en mobilité et évaluation de la satisfaction pour chaque motif
3. Etude de l'intérêt d'un jingle vibratoire	Evaluer l'intérêt de présenter un jingle vibratoire avant chaque motif vibratoire	Evaluation en mobilité en laboratoire avec prototype fonctionnel 36 participants	Connaissance sur l'intérêt d'un pré-signal vibratoire

Tableau 15. Récapitulatif des étapes et expérimentations mises en œuvre au cours de la partie expérimentale n°2.

2. Elaboration du concept

2.1. Génération d'idées de concepts

2.1.1. Objectifs

Cette première expérimentation vise à générer des concepts de systèmes d'aide au déplacement permettant de répondre efficacement aux exigences spécifiées dans le cahier des charges pour chacune des fonctions haptiques : GUIDER, RASSURER, ALERTER, SIGNALER.

2.1.2. Méthodologie

Afin de générer des idées de concepts, nous avons mis en place deux séances de créativité d'environ deux heures et demi chacune.

2.1.2.a) Participants

Vingt-six personnes (9 femmes et 17 hommes) ont pris part à cette expérimentation. Parmi eux, douze participants (8 ingénieurs, 1 designer et 3 ergonomes), tous concepteurs travaillant sur le projet Tictact ont participé à première séance de créativité. La seconde séance de créativité s'est déroulée avec quatorze participants volontaires (5 femmes et 9 hommes). Ces derniers ne faisaient pas partie du projet et tous avaient déjà voyagé avec les transports en commun à Paris. Afin que les échanges et la production issue de la séance soient plus riches, nous avons fait le choix que pour chacun des groupes la moitié des participants soient familiarisés avec les interactions haptiques.

2.1.2.b) Déroulement

Les séances de créativité étaient animées par un ergonome et un designer suivant un protocole mis au point conjointement par les deux animateurs dont voici le déroulé.

Tout d'abord le projet était introduit, avec les objectifs de la séance, les quatre fonctions haptiques sur lesquelles ils allaient devoir travailler ainsi que les messages associés (Voir Tableau 14). Il était rappelé aux participants que l'important était de produire un maximum d'idées, que les solutions proposées ne devaient faire l'objet d'aucune critique mais au contraire pouvaient être utilisées pour alimenter d'autres idées (Osborn, 1953).

Après cette introduction, nous avons mis en place, pendant quinze minutes, un jeu d'improvisation permettant aux participants de s'échauffer en stimulant leur créativité et en libérant leur esprit. Le principe était de tirer à tour de rôle cinq cartes parmi cinq familles de paramètres d'interaction suivants : la fonction haptique, la zone du corps impliquée, les sensations produites ou perçues, l'effort à fournir et les mouvements ou gestuelles associés. A partir de ces cinq éléments, chaque participant à tour de rôle devait dans un délai très court (maximum dix secondes), mimer et verbaliser une proposition d'interaction correspondant à la combinaison des cartes piochées.

Les participants ont ensuite été répartis par équipe de trois à cinq. Chaque équipe a été invitée à imaginer, dessiner, maquetter de façon rapide et expérimenter diverses interactions permettant de traduire avec la modalité haptique les quatre fonctions : GUIDER, RASSURER, ALERTER, SIGNALER. Afin d'aider les participants à créer des interactions en adéquation avec le contexte de l'activité, deux scénarios de déplacements ont été présentés puis affichés dans la salle. Ces scénarios permettaient aux participants de se projeter plus facilement dans l'activité de déplacement en soulignant notamment l'importance de la prise en compte des différentes zones d'un trajet : ouverte, accès, transfert et transportation (Cf. partie empirique n°1). Il était précisé aux participants qu'ils devaient, pour chaque idée de concept définir : le principe d'interaction, caractériser le ressenti haptique, sa localisation, ainsi que la façon d'utiliser. Du matériel (post-it, du carton, de la pâte à modeler, etc.) était à disposition des participants afin qu'ils puissent réaliser des

maquettages rapides des concepts qu'ils imaginaient (voir Figure 31). Les différentes équipes disposaient de soixante minutes pour trouver des idées de concept d'interaction, avec un temps de quinze minutes pour réfléchir à chacune des fonctions. La séance de créativité s'est terminée par trente minutes au cours desquelles chaque équipe à présenté à l'aide de maquettes et/ou croquis leurs différentes idées de concepts.

Figure 31. Prises de vue pendant l'une des séances de créativité et du matériel à disposition pour l'expérimentation.

2.1.2.c) Recueil de données

Les trente dernières minutes de la séance de créativité correspondant à la restitution du travail de chaque équipe ont été filmées. Cela a permis d'obtenir une trace des présentations de chaque idée de concepts et des échanges et réactions qu'a suscités chacune des idées parmi les autres participants. Nous avons également récupéré les maquettes ainsi que les croquis produits par les différentes équipes.

2.1.2.d) Traitement des données

Les données vidéo ainsi que les maquettes ont été retranscrites sous forme de fiche idée. Ces fiches contenaient les items suivants :

- la fonction à laquelle le concept est rattaché (GUIDER, RASSURER, ALERTER, SIGNALER)
- une définition du principe de l'interaction
- une vue d'artiste et/ou une prise de vue du concept
- les modalités sensorielles utilisées en plus de l'haptique (visuelle, auditive)
- la typologie du ressenti haptique (texture / vibration/ polymorphisme/actionnement)
- la typologie du port l'objet (objet tenu / porté / multi-localisé)

2.1.3. Résultats

Au cours de ces deux séances de créativité, les participants ont généré trente idées de concepts de systèmes. Ces idées portent à la fois sur la forme générale du système, les interactions possibles avec l'usager, la zone du corps concernée par cette interaction, le principe de fonctionnement ainsi que les caractéristiques générales. A partir de ces trente idées, l'ergonome et le designer ont rédigé et illustré trente fiches correspondant à chaque concept (voir figure 32 ci-dessous et Annexes 7). Nous avons obtenu dix-sept fiches idées pour la fonction GUIDER. Pour les fonctions ALERTER et SIGNALER tous les groupes ont imaginé des concepts semblables mais dont les modalités d'interaction changeaient pour l'une ou l'autre des deux fonctions. Nous avons obtenu pour ces deux fonctions neuf fiches idées différentes. Enfin pour la fonction RASSURER, nous avons obtenu quatre fiches idées.

A partir de ces fiches-idées de concepts nous avons mis en place une seconde expérimentation afin de sélectionner les concepts les plus prometteurs pour chaque grande fonction.

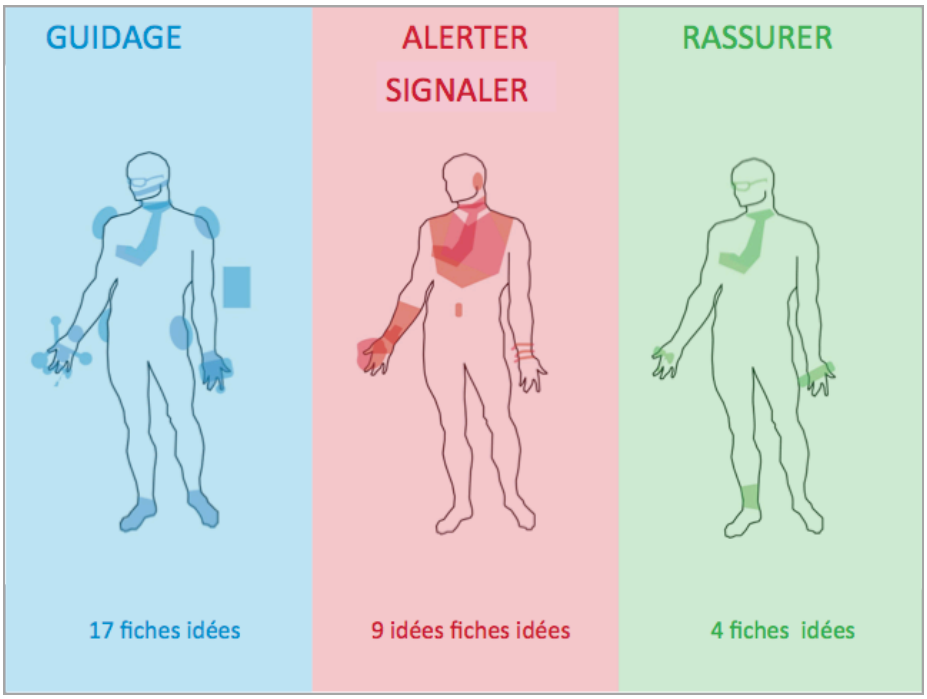


Figure 32. Récapitulatif des différents endroits du corps correspondant aux différentes idées de concepts imaginés par les participants lors des deux séances de créativité.

2.2. Sélection du concept du dispositif haptique

2.2.1. Objectifs

Cette seconde expérimentation vise à sélectionner le(s) idée(s) de concept(s) le(s) plus adaptée(s) aux quatre fonctions haptiques du futur dispositif d'aide au déplacement.

2.2.2. Méthodologies

Afin de sélectionner les idées de concepts les plus adaptées à l'activité, nous avons mis en place une évaluation experte réalisée par quatre ergonomes.

2.2.2.a) Participants

Quatre ergonomes (3 femmes et 1 homme) ont pris part à cette expérimentation. Tous avaient ou étaient actuellement en train de travailler sur des projets de conception autour de l'usage de l'haptique et étaient ainsi considérés comme experts de cette modalité.

2.2.2.b) Critères d'évaluation adoptés

L'évaluation s'est basée sur six critères permettant de définir pour chaque idée de concept la capacité potentielle à remplir les quatre fonctions haptiques du dispositif d'aide (GUIDER, RASSURER, ALERTER, SIGNALER). Les six critères que nous avons adoptés sont les suivants : l'efficacité de l'interaction, la relation sémantique, la charge de travail, l'affect, l'acceptabilité et l'esthétisme. Nous les définissons dans le tableau suivant :

Critères	Définition du critère
Efficacité de l'interaction	potentialité du concept à contribuer à la réussite des différentes activités cognitives élémentaires (ACE) dans les différents contextes d'utilisation de l'activité de déplacement. L'efficacité prend en compte les erreurs d'utilisation, le temps pour exécuter une tâche donnée, le nombre d'opérations requises pour exécuter la tâche principale et les déviations par rapport à la procédure optimale (Brangier, Barcenilla, 2003 ; Tricot et al. 2003).
Relation sémantique	fait référence aux propriétés physiques d'un objet. Pour un artefact cela désigne les indices (par exemple l'emplacement des boutons d'action, le sens de prise de l'artefact, etc.) qui vont inciter l'utilisateur à effectuer des actions spécifiques. La relation sémantique fait le lien entre les éléments de l'interface et ce à quoi ils font référence.
Charge de travail	concerne le niveau perceptif et mnésique. La mémoire à court terme est limitée. Il faut que les actions impliquées dans l'atteinte d'un but soient simples, rapides, peu nombreuses et impliquent de façon minimale la mémoire à court terme. Il est important de limiter l'apport informationnel en supprimant les éléments sans lien avec le contenu de la tâche en cours.
Affect	c'est une façon de considérer la dimension affective et d'évaluer à la fois les affects des utilisateurs et leurs perceptions des qualités affectives de l'interface. Les affects peuvent être positifs ou négatifs (Février et al. 2011 ; Cahour, 2010).
Acceptabilité	valeur de représentation mentale (attitudes, opinions, etc. plus ou moins positives) à propos d'un artefact, de son utilité et de son utilisabilité. Cette représentation mentale peut être individuelle ou collective. La valeur de cette représentation conditionnerait la décision d'utilisation de l'artefact. L'acceptabilité peut être sensible à des facteurs très divers comme la culture et les valeurs des utilisateurs, leur motivation, l'organisation sociale et les pratiques dans lesquelles s'insèrent plus ou moins bien l'artefact (Nielsen, J., 2000).
Esthétisme	porte sur l'aspect esthétique de l'artefact aussi bien du point de vue visuel, que du toucher (interaction agréable), mais aussi de la capacité de l'artefact à s'adapter à différents styles d'utilisateur (homme, femme, style vestimentaire, saison, etc.).

Tableau 16. Récapitulatif des six critères utilisés pour l'évaluation experte.

2.2.2.c) Déroulement

Dans un premier temps, nous avons présenté au jury des quatre ergonomes : l'objectif de l'évaluation, les quatre fonctions haptiques du dispositif, les messages d'aide associés (tableau Manip 1) ainsi que les six critères adoptés pour évaluer les idées de concepts. Dans un second temps les trente fiches idées issues de l'expérimentation précédente ont été distribuées au jury. Les ergonomes, individuellement, devaient étudier chaque fiche puis confronter leurs points de vue en groupe et attribuer une note à chaque idée. Cette note est déterminée selon six critères. Pour chaque critère, les ergonomes devaient donner un score suivant le tableau suivant :

Scores	Définition du score
1	indique une bonne potentialité du concept pour le critère
0	indique que le concept ne satisfait pas entièrement le critère en question
-1	indique l'impossibilité de satisfaire le critère

Tableau 17. Barème de notation utilisé les quatre jurys pour noter chaque fiche-idée.

La somme des points pour les six critères donne la note pour chacune des fiche-idées. Par exemple une fiche-idée ayant recueilli trois 1, deux 0 et un -1, obtiendrait un total de 2. Ce calcul a permis de faire émerger les concepts les plus prometteurs en fonction des six critères présentés précédemment. La note maximale possible était 6 et à la note la plus basse -6.

2.2.3. Résultats

Nous allons présenter ici les fiches-idées des concepts ayant obtenu la note la plus haute pour chaque fonction. Le détail des notes pour chacune des fiches idées se trouve en annexe (Annexe 8).

2.2.3.a) Concept sélectionné pour la fonction GUIDER

A l'issue de l'évaluation experte, la fiche idée la mieux notée pour la fonction GUIDER est la « plateforme pivotante » avec une note de 5/6 (voir Tableau 18 ci-dessous). Le concept présenté dans cette fiche (voir Figure 33) est une plateforme à deux degrés de liberté qui pivote dans la direction à suivre. Cette plateforme peut être intégrée à une coque de smartphone. Cette interface a besoin d'être tenue en main pour donner l'information de guidage. C'est donc un objet porté, que l'on peut tenir dans la main quand on en a besoin.

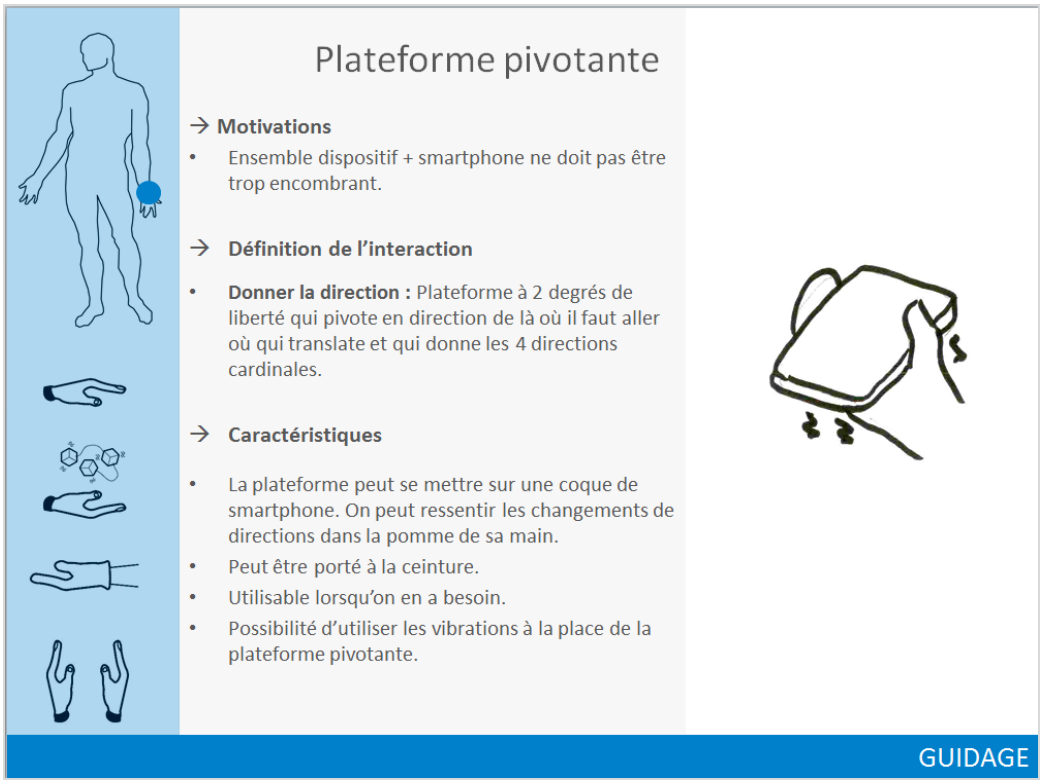


Figure 33. Fiche idée du concept « Plateforme pivotante » relatif à la fonction GUIDER.

2.2.3.b) Concept sélectionné pour les fonctions ALERTER et SIGNALER

L'idée de concept la mieux notée pour les fonctions ALERTER et SIGNALER est : « le bracelet vibrant » et a obtenu une note de 5/6 (voir Tableau 18). Le concept présenté dans cette fiche (voir Figure 34) est celui d'un bracelet qui serrerait le poignet de façon plus ou moins forte et plus ou moins rapidement suivant le niveau d'importance de l'information. Ces alertes données avec le bracelet permettent d'inviter s'il le désire, l'utilisateur à consulter l'écran de son smartphone sur lequel il pourra trouver des informations complémentaires. Le concept du bracelet est universel. Il se porte au poignet. Son port peut être soit discret, soit au contraire volontairement voyant.

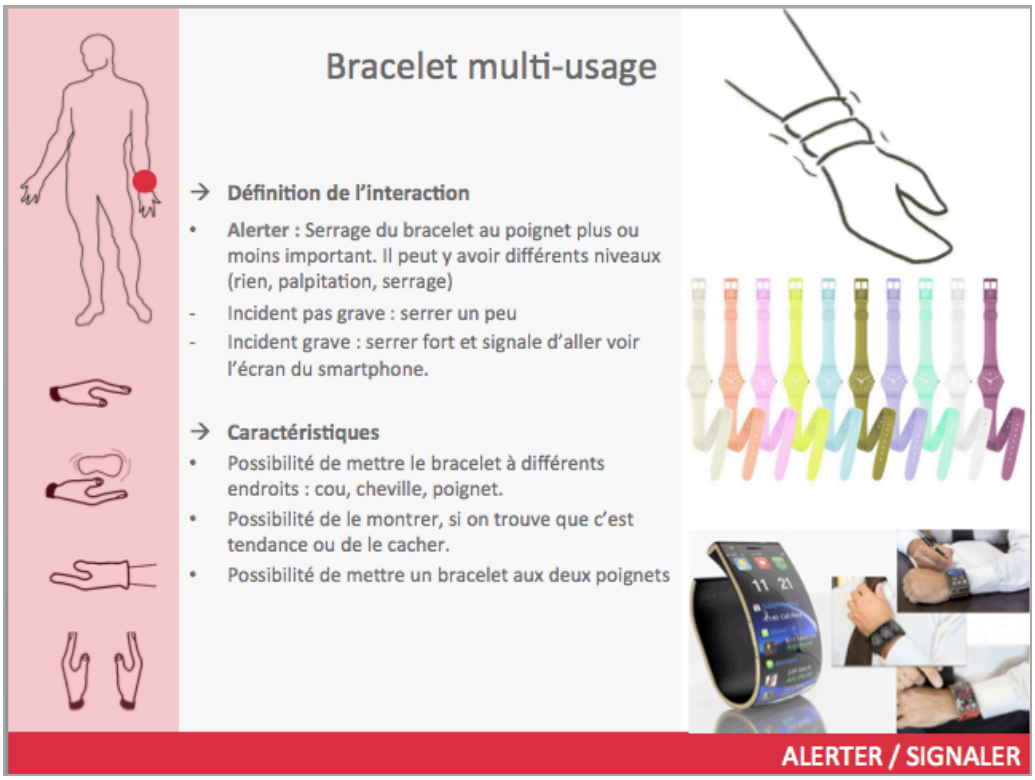


Figure 34. Fiche d'idée du concept « Bracelet multi-usage » relatif à la fonction ALERTER-SIGNALER.

2.2.3.c) Concept sélectionné pour la fonction RASSURER

Pour la fonction RASSURER, le concept le mieux noté est « The cylinder » et celui de la « Matrice de stimuli ». Ils obtiennent tous les deux une note de 4/6 (voir Tableau 18).

Le concept présenté dans la fiche « Matrice de stimuli » (voir Figure 35) est celui d'une ligne de vibreurs située sur la peau (plusieurs endroits ont été évoqués pendant la séance de créativité tels que le bras ou le torse). Cette ligne de vibreurs représente le chemin que l'on suit et vibre de façon très faible durant toute la durée du trajet. Si l'on veut avoir confirmation d'être sur la bonne route, on tape sur la ligne, les vibrations de la ligne deviennent alors plus marquées. Si l'on est dans la mauvaise direction, la ligne fait alors un mouvement en zig-zag.

Le concept présenté dans la fiche « The Cylinder » (voir Figure 36) est celui d'une interface de forme cylindrique que l'on pourrait porter sur le bras. Cette interface permettrait de donner la sensation d'une caresse tant que l'on se trouve sur la bonne route. A partir du moment où l'on s'éloigne du bon chemin la caresse devient alors une vibration.

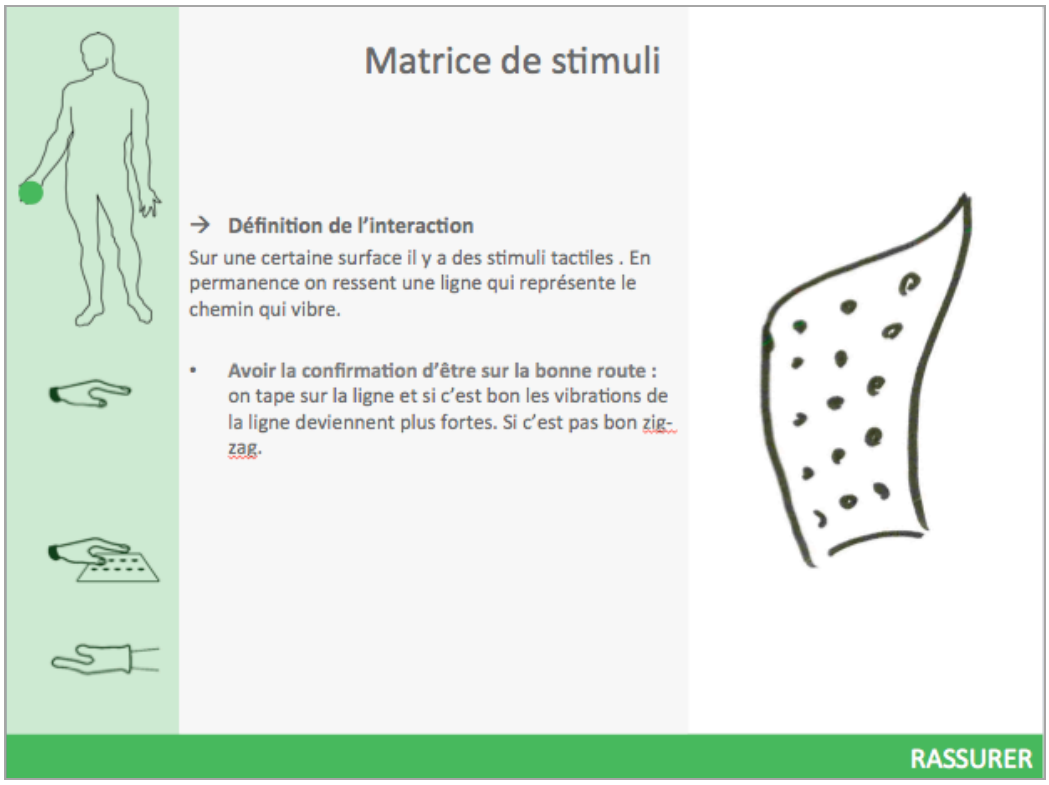


Figure 35. Fiche idée du concept « Matrice de stimuli » relatif à la fonction RASSURER

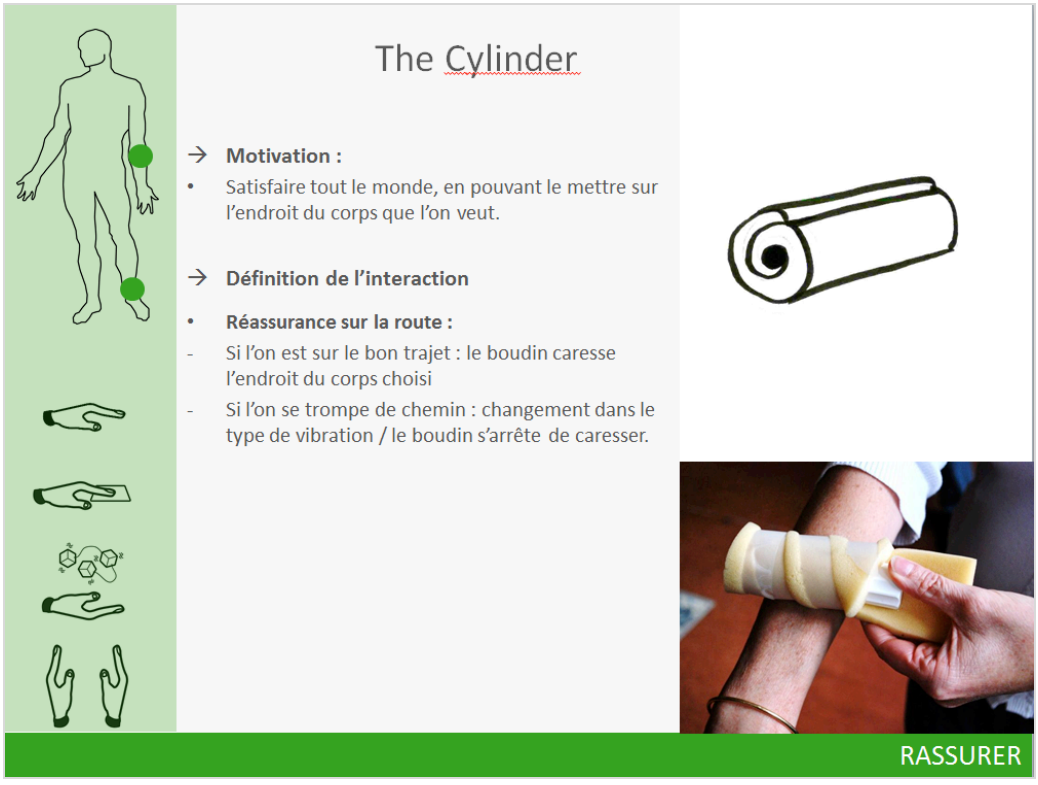


Figure 36. Fiche idée du concept « The Cylinder » relatif à la fonction RASSURER.

Concepts	Efficacité	Relation sémantique	Charge de travail	Affect	Acceptabilité	Esthétisme	Note
Plateforme	1	1	1	1	1	0	5
Bracelet	1	0	1	1	1	1	5
The Cylinder	1	1	1	1	0	0	4
Matrice-stimuli	1	1	0	1	1	0	4

Tableau 18. Récapitulatif des notes données par les jurys pour les quatre concepts ayant obtenus les notes les plus hautes.

2.2.3.d) Une interaction différenciée selon les fonctions

Les idées de concepts issus des séances de créativités vont dans le sens d'une interaction différenciée selon les fonctions du dispositif. La littérature confirme qu'il est peu souhaitable de faire passer l'ensemble des interactions sous forme d'un même type de signal. En environnement perceptivement chargé, il y a de fortes chances que des signaux de même nature soient confondus, voire non perçus, même s'ils sont discriminables entre eux. Il s'agit d'un phénomène de masquage (Enriquez, 2008). Cela justifie notre volonté de séparer de façon claire la façon d'interagir pour différentes fonctions du système d'aide. Pour les fonctions ALERTER, SIGNALER et RASSURER, une information doit pouvoir être communiquée à l'utilisateur même quand ce dernier ne s'y attend pas. Les informations relatives à ces fonctions vont être communiquées par l'intermédiaire du bracelet vibrant, objet porté et donc en contact de façon continue avec la peau de l'utilisateur. Lorsqu'une personne est en situation de wayfinding, elle est active sur sa route afin de prendre les informations qui vont l'aider à prendre les bonnes décisions d'orientation. Les informations relatives à la fonction GUIDER, sont nécessaires quand l'usager en éprouve le besoin, il va donc être actif dans sa recherche d'information.

2.2.3.e) Des fiches idées à un concept réalisable techniquement

Il s'agit à présent de définir un concept permettant de répondre aux besoins de l'analyse de l'activité de déplacement, s'appuyant également sur les fiches-idées sélectionnées précédemment mais prenant également en compte la réalisation technologique ainsi que les potentialités d'innovation. Il est à présent nécessaire d'intégrer à ce processus de conception les critères de faisabilité technique. Les quatre fiches-idées de concept ayant obtenu la note la plus haute pour chacune des fonctions ont été présentées à l'équipe de conception au cours d'une réunion de projet. Les interactions correspondant aux différentes fonctions sont réalisables avec des technologies dont les grands principes ont été validés par les ingénieurs de l'équipe. Ces techniques devront toutefois faire l'objet d'adaptation et de miniaturisation pour les besoins de l'application et les contraintes de mobilité.

Fonction	Fiches-idées de concepts	Concept définit	Modalités sensorielles
GUIDER	« Plateforme pivotante »	Viflex	Haptique
RASSURER	« The Cylinder » « Matrice de stimuli »	Bracelet vibrant	Haptique
ALERTER	« Bracelet multi-usage »	Bracelet vibrant & smartphone	Haptique & visuelle
SIGNALER			
PLANIFIER		Smartphone	Visuelle

Tableau 19. Récapitulatif des fonctions et des concepts d'interface adoptés pour chacune des fonctions.

Après cette réunion, l'équipe projet a opté pour la conception d'un système d'aide comprenant deux interfaces haptiques (Tableau 19) en adéquation avec les quatre fiches-idées sélectionnées précédemment : le viflex et le bracelet vibratoire ainsi qu'un smartphone permettant de commander les deux interfaces grâce à une application d'aide au déplacement. Ces deux interfaces sont commandées par une application smartphone d'aide au déplacement développée pour le projet. Nous allons à présent décrire les trois éléments du système d'aide :

- **Le viflex**

Le viflex se tient dans la main (type télécommande) et est surmonté d'une plateforme amovible sur laquelle on vient positionner son pouce et pouvant basculer dans les 4 points cardinaux ainsi que dans les diagonales (8 positions). Cette plateforme est active, c'est à dire qu'elle va faire bouger le pouce dans l'une des directions. Cette interaction va permettre d'envoyer des informations à l'utilisateur sous forme de messages haptiques. Quand l'utilisateur n'utilise pas le viflex, il peut le glisser dans sa poche ou dans un sac pour libérer sa main. La batterie du dispositif est située dans le viflex et va également alimenter le bracelet. Pour cela le bracelet et le viflex sont reliés par un cordon.

Le viflex va ainsi permettre de donner les informations de navigation de façon analogue à un GPS, en indiquant la direction à suivre avant chaque point de réorientation.

- **Le bracelet vibrant**

Le bracelet se porte au poignet. Il est constitué de huit vibreurs répartis de façon équidistante autour du poignet. C'est donc un objet porté par le participant et qui va permettre d'envoyer des motifs vibratoires à ce dernier.

Cependant le concept choisi reste partiellement indéfini, dans la mesure où les concepteurs s'interrogent encore sur comment exploiter au mieux les technologies présentes dans le prototype pour créer une interaction adaptée à l'utilisateur. Répondre à cette question implique de réaliser un ensemble de choix fonctionnels et techniques que nous résumons par l'expression langage d'interaction. Dans la suite de ce chapitre nous nous intéressons exclusivement à la spécification de l'interaction pour le bracelet vibrant.

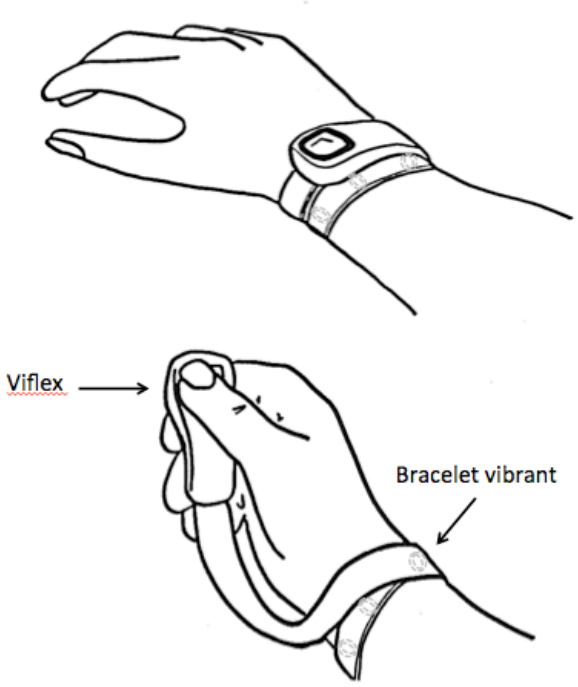


Figure 37. Vue d'artiste du concept final pour le système d'aide au déplacement Tictact, il se compose de trois interfaces : le viflex (interface haptique), le bracelet (interface haptique) et le smartphone (interface visuelle).

2.2.3.f) De l'élaboration du concept au prototype

A la suite de cette phase d'élaboration du concept de système haptique, la phase de prototypage a commencé. Ce travail est essentiellement réalisé par les ingénieurs. Ils vont, grâce à leurs connaissances du marché et des technologies existantes concevoir un système innovant répondant aux spécificités du concept. L'ergonome interagit de façon ponctuelle et régulière avec les ingénieurs lors de réunions et d'échanges informels. Le fait de pouvoir disposer d'un prototype fonctionnel tôt dans le processus de conception est nécessaire pour mettre au point le langage

d'interaction, mais aussi pour acquérir des connaissances sur l'utilisation de ce type de modalité ainsi que sur l'expérience utilisateur associée.

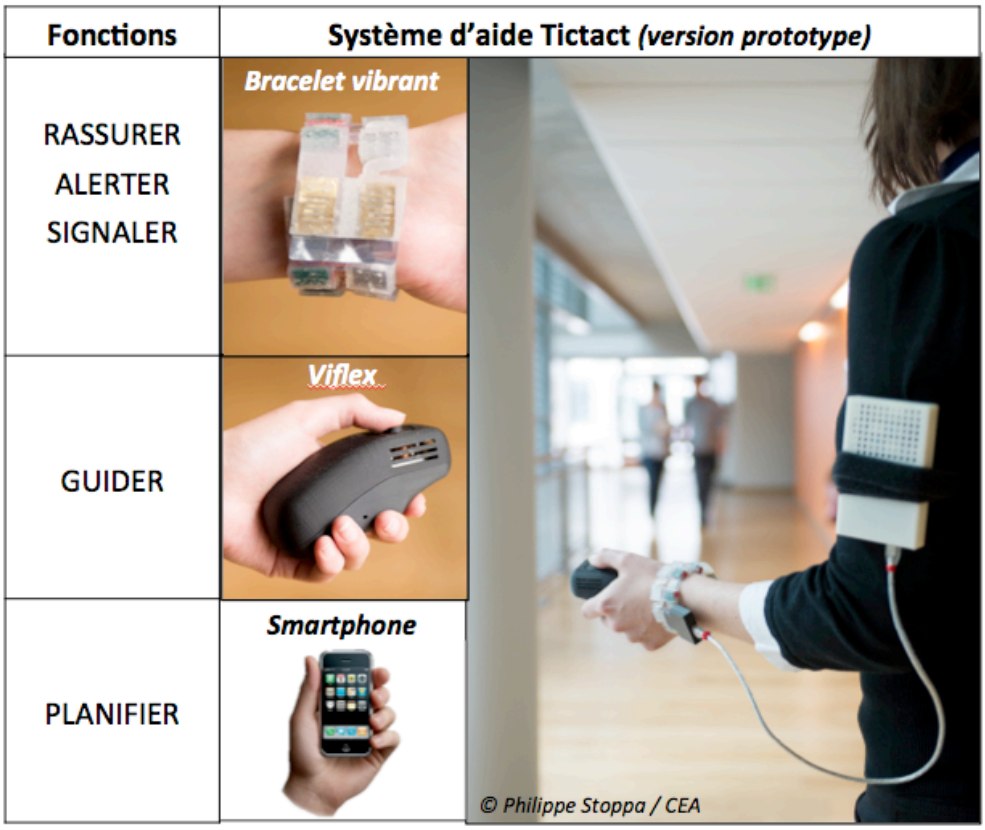


Figure 38. Prise de vue des interfaces correspondant à chacune des fonctions du système.

3. Conception de la signification haptique

Cette étape vise à spécifier l'interaction haptique du bracelet vibrant. Notre objectif est de concevoir un langage facile à comprendre et compatible avec les capacités perceptives et cognitives des usagers. Nous avons fait le double choix (1) d'impliquer fortement l'utilisateur dans cette phase et (2) d'utiliser les métaphores comme point d'ancrage de la conception de motifs vibratoires. Dans le cas présent, les métaphores sont des analogies utilisées pour décrire des entités peu familières, en particulier pour définir comment le système transmet un message à l'utilisateur. Ces métaphores seules, ne permettent pas de spécifier complètement le système. En effet, ces analogies doivent être examinées au regard des connaissances techniques des concepteurs pour que les interactions Homme-Machine soient complètement spécifiées. Nous utilisons le terme de *motif vibratoire* pour désigner la manière dont la métaphore est appliquée concrètement, c'est-à-dire la manière dont le système « bracelet vibrant » transmet le message à l'usager.

A cette étape nous connaissions les spécificités techniques de l'interface : un bracelet se portant au poignet constitué de huit vibreurs répartis de façon équidistante. Mais nous ne savions pas comment transmettre à l'aide des vibrations les différentes informations relatives aux trois fonctions relatives à cette interface : RASSURER, ALERTER et SIGNALER. A ces trois fonctions correspondent sept messages issus de la partie empirique n°1. La démarche qui suit vise à traduire avec la modalité haptique chacun de ces messages de sorte qu'ils soient significatifs pour l'activité de l'utilisateur.

FONCTIONS	Messages délivré par le dispositif	messages
RASSURER	→ Rassure l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route	m.1
ALERTER	→ Alerte quand l'utilisateur se trompe de route	m.2
	→ Alerte sur le lieu de la montée et/ou de la descente de son véhicule de transport	m.3
	→ Alerte sur un incident / accident (plus ou moins grave par rapport à la suite de son itinéraire)	m.4
	→ Alerte sur la disponibilité des équipements réseaux sur le trajet	m.5
SIGNALER	→ Signale un point d'intérêt	m.6
	→ Signale une info culturelle/ludique	m.7

Tableau 20. Tableau récapitulatif des fonctions et des messages associés relatifs à l'interface du bracelet haptique.

Cette étape se déroule en cinq expérimentations dont les objectifs, la méthodologie et les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Objectifs	Méthodologie	Résultats	Sections
1. Recueillir des métaphores correspondant aux différentes fonctions du dispositif d'aide allouées au bracelet	Séances de créativité individuelles 24 participants	Grand nombre de métaphores correspondant à chacune des fonctions d'aide	
2. Sélectionner les métaphores les plus pertinentes pour chaque fonction allouée au bracelet	Questionnaire en ligne 104 participants	21 métaphores (entre 2 et 4 par messages)	
3. Créer des motifs vibratoires pour chacune des fonctions en se basant sur l'utilisation des métaphores	Séances de créativité individuelles avec prototype fonctionnel 25 participants	Idées de motifs vibratoires correspondant à chacune des métaphores	
4. Définir les paramètres saillants pour chacun des motifs vibratoires et sélectionner le motif le plus représentatif pour chacune des métaphores	Tri des cartes avec prototype fonctionnel 29 participants	21 motifs vibratoires correspondant à chacune des métaphores	
5. Vérifier si les motifs vibratoires sont reconnus après un court apprentissage et évaluer la satisfaction des utilisateurs par rapport à ce langage d'interaction	Evaluation en mobilité en laboratoire avec prototype fonctionnel 25 participants	Taux de reconnaissance des motifs en mobilité et évaluation de la satisfaction pour chaque motif	

Tableau 21. Récapitulatif des objectifs, méthodologie et résultats de l'étape 3.

3.1. Génération des métaphores

L'objectif de cette expérimentation est de recueillir un nombre important de métaphores associées à chacun des sept messages du dispositif (voir Tableau 20).

3.1.1. Méthodologie

24 utilisateurs futurs du système (8 femmes et 16 hommes, moyenne=30,8 ans) ont participé à cette expérimentation. Cette expérimentation se déroule en trois étapes :

1- Tout d'abord l'expérimentateur explique au participant ce qu'est une métaphore. Puis, il sensibilise le participant à la tâche qu'il va devoir réaliser par la suite. Pour cela l'expérimentateur va mettre en place un petit entraînement consistant à donner un intitulé de message ne faisant pas partie de ceux délivrés par le dispositif au participant et ce dernier devra donner le plus rapidement possible une métaphore qu'il y associerait (voir Annexe 9).

2- Ensuite, les différents messages sur lesquels nous allons travailler dans cette étude sont présentés aux participants (Tableau 20). Les messages sont présentés aux participants sous la forme de brefs scénarios de déplacement afin de les plonger dans le contexte d'usage futur du système.

3- Enfin, l'expérimentateur revient plus longuement sur chacun des messages et demande au participant de s'imaginer dans une situation de déplacement dans laquelle cette fonction aurait sa place. L'expérimentateur donne des éléments contextuels pour chacune des fonctions.

Exemple pour l'alerte correspondant à la montée dans son véhicule :

« Vous vous trouvez sur le quai du métro, vous êtes en train d'attendre en lisant un journal. Le dispositif vous signale l'arrivée imminente de votre métro. A quels choses/objets/mélodie/bruit/… pourriez-vous associer de façon spontanée ce message ?».

L'expérimentateur demande ensuite à quelle métaphore le message délivré par le dispositif pourrait être associé. Chaque participant a le droit à deux réponses maximum. La liste des messages est présentée à chaque participant dans un ordre aléatoire. Toutes les métaphores issues de l'expérimentation ont été listées en regroupant les métaphores très proches (exemple : « Ding-Dong », » Cloche » et « Sonnette »).

3.1.2. Résultats

Au total 48 métaphores ont été recueillies (Annexe 10). Sur les 48 métaphores exprimées, 12,5% ont été citées par 10 personnes ou plus, 27,0% ont été citées par 5 personnes ou plus et 68,8% par plus d'une personne. Le tableau ci-dessous présente les métaphores exprimées par au moins deux participants pour chacun des sept messages (Cf. Tableau 20).

Messages	Métaphores associées	Nombre participants
M1 : Rassure l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route	- Un chat qui ronronne	6
	- Roue lente	2
	- Caresse	8
	- Un massage	2
	- Sensation de glisser/rouler (toboggan, boule de bowling)	4
	- Une musique douce / d'ambiance	3
	- Un pouce levé	4
M2 : Alerte quand l'utilisateur se trompe de route	- Mur qui bloque / impasse/ barrière	6
	- Se prendre une baffe	2
	- Warning	5
	- Quelqu'un qui fait signe de revenir / Demi-tour	**10**
M3 : Alerte sur le lieu de la montée et/ou de la descente de son véhicule de transport	**- Réveil – Minuterie four**	**11**
	- Quelqu'un qui donne une petite tape/ Hého !	**10**
	- Ding – Dong/Cloche/ Petite sonnette / Arrivée ascenseur	4
	- Point qui clignote	3
M4 : Alerte sur un incident / accident	**- Sirène de pompier / Gyrophare**	**12**
	- Quelqu'un qui te secoue / Un frisson / Un sursaut	3
	- Barrière qui bloque	2
	- Un crash / Quelque chose qui se casse	2
	- Un caillou / un rocher qu'il faut contourne	3
M5 : Alerte sur la disponibilité des équipements réseaux sur le trajet	- Point d'exclamation	4
	- Quelqu'un qui te retient/quelque chose qui ne bouge plus	2
	- Des marches d'escaliers / Une musique qui monte	**11**
	- Des roues qui deviennent carrées	5
	- Croix barré avec l'équipement cassé derrière	4
M6 : Signale un point d'intérêt	**- Musique sympa**	**12**
	- Clochette	2
	- Cœur / Battement de cœur	3
M7 : Signale une info culturelle/ludique	- Etoile filante	2
	- Ampoule qui s'allume	2
	- Musique classique	4
	- Monument / Tour Eiffel	6
	- Grand C de culture / icône i de information	6

Tableau 17. Récapitulatif des métaphores associées à chacun des messages par plus d'un participant.

Afin de sélectionner un nombre plus restreint de métaphores dans la liste issue de la première expérimentation il a été nécessaire de mettre en place une seconde expérimentation dans laquelle

un grand nombre de personnes ont sélectionné les métaphores les plus signifiantes, c'est à dire les métaphores qu'ils associent le plus rapidement et le plus facilement à chacun des messages.

3.2. Sélection de métaphores signifiantes

Cette expérimentation vise à faire sélectionner par un grand nombre de personnes, les métaphores les plus signifiantes pour chaque message parmi les métaphores exprimées précédemment.

3.2.1. Méthodologie

104 personnes ont pris part à cette expérimentation dont 46 femmes et 58 hommes (âge moyen= 31,5 ans). Toutes les personnes sont novices dans les interactions haptiques et leurs professions sont variées.

L'expérimentation consiste à remplir un questionnaire en ligne (Google formulaire). Le questionnaire présente chacune des fonctions en détaillant chaque message. A côté de chacun des messages, se trouve la liste des métaphores verbalisées lors de l'expérimentation précédente. La consigne donnée est de sélectionner pour chaque message, les deux métaphores que le participant associe le plus facilement et les plus rapidement avec le contenu du message.

3.2.2. Résultats

Nous avons sélectionné 21 métaphores dont le pourcentage correspond à 25% de sélection, soit 25 participants minimum (voir Tableau 22). Nous avons ainsi obtenu 2 à 4 métaphores par message. Ces métaphores vont être utilisées dans la suite de la démarche de conception de l'interaction pour la traduction des messages au format haptique.

messages	Messages délivré par le dispositif	Métaphores sélectionnées	% sélection
m.1	Rassure l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route	« Ça roule » « Ronronnement » « We will rock you»	38,5 28,8 27,8
m.2	Alerte quand l'utilisateur se trompe de route	« Demi-tour » « Non » « Fée »	45,1 30,7 25,0
m.3	Alerte sur le lieu de la montée et/ou de la descente de son véhicule de transport	« Toc-toc » « Alarme » « Gong » « Hého »	26,3 72,1 25,2 39,4
m.4	Alerte un incident / accident (plus ou moins grave par rapport à la suite de son itinéraire)	« Sirène » « Buzz »	45,9 27,1
m.5	Alerte sur la disponibilité des équipements réseaux sur son trajet	« warning » « Roue carrée » « Bug »	42,3 25,1 25,1
m.6	Signale un point d'intérêt	« Radar » « Musique sympa » « Cœur qui bat »	25,4 25,2 29,8
m.7	Signale une info culturelle/ludique	« Flash » « Symphonie Beethoven » « Valse »	25,1 33,0 27 ,8

Tableau 22. Métaphores sélectionnées pour chacun des sept messages donnés avec le bracelet vibrant.

3.3. Création de motifs vibratoires

Cette expérimentation vise d'une part à générer différents motifs vibratoires traduisant chacune des 21 métaphores sélectionnées précédemment. D'autre part, l'expérimentation doit permettre de définir les préférences des utilisateurs quant aux paramètres les plus judicieux à utiliser pour la conception de motifs vibratoires significatifs. Cette expérimentation doit également permet d'obtenir une première évaluation du niveau d'acceptation que pourrait avoir l'interface vibratoire, tant sur le plan du ressenti (satisfaction ou non pendant l'expérimentation) que pour la facilité de

compréhension de la tâche demandée et sa bonne réalisation. La démarche de conception adoptée mêle conception participative et conception par l'expérience utilisateur.

3.3.1. Méthodologie

25 personnes ont participé à l'expérimentation dont 12 femmes et 18 hommes (âge moyen = 34,7 ans). Tous les participants étaient novices pour les interactions haptiques et n'avaient pas pris part aux expérimentations précédentes.

Nous avons mis en place 25 séances individuelles de créativité qui ont duré entre 45 minutes et 1 heure par personne. Ces séances étaient réalisées avec un prototype du bracelet vibrant.

Durant toute la durée de l'expérimentation le participant portait au poignet le prototype du bracelet vibrant. Ce dernier était un bracelet en tissu à scratch sur lequel étaient positionnés huit vibreurs sur une même ligne et de façon équidistante autour du poignet. Les participants ont pu ainsi concevoir les motifs vibratoires avec un prototype de bracelet vibreur, dans des conditions aussi proches que possible de l'utilisation finale. Cela était d'autant plus important que l'interaction avec ce type d'interface était inconnue pour les utilisateurs.

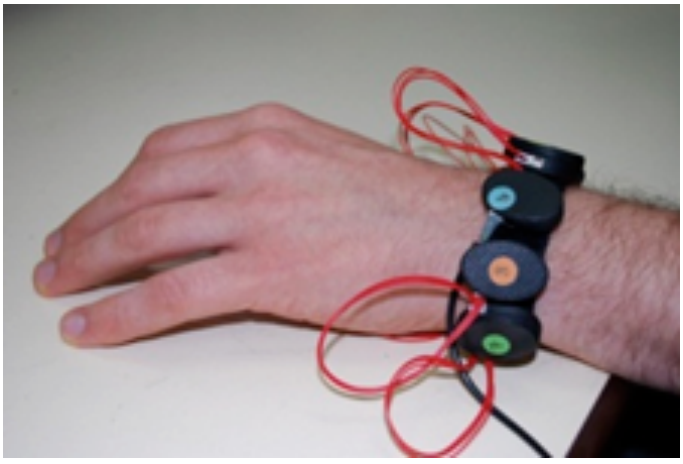


Figure 39. Prise de vue du prototype de bracelet vibrant utilisé dans l'expérimentation B.3, B4 et B5.

Afin de contrôler les 8 vibreurs du bracelet, l'expérimentateur disposait d'une tablette androïde sur laquelle était installée une application permettant de créer les motifs vibratoires (éditeur). L'application qui communiquait par Bluetooth avec le bracelet contrôlait les paramètres suivants :

- le nombre de vibreurs impliqués dans le motif (entre 1 et 8)
- la localisation sur le poignet
- l'amplitude de chaque vibreur (entre 1 et 7)
- la durée d'activation de chaque vibreur / Durée de la pause entre 2 vibrations
- la séquence temporelle (10 trames et chaque trame dure de 0 à 1,6 secondes)
- la motif vibratoire (croisement de tous les paramètres précédents)

Afin que la création de motifs ne soit pas limitée par l'utilisation de l'éditeur, c'est l'expérimentateur qui manipulait l'éditeur en fonction des demandes du participant.

Chaque séance de créativité se déroulait de la façon suivante :

1. Pour commencer, le participant est soumis à une session de sensibilisation à l'éditeur de motifs. Cette session consiste à présenter les différentes possibilités permises et les différents paramètres.

2- Les métaphores sont présentées au participant. Les participants n'avaient pas connaissance de la correspondance entre les messages et les métaphores. Nous avons fait ce choix afin que la connaissance des messages ne bride pas la créativité.

Chaque participant était invité à concevoir 7 motifs vibratoires correspondant à 7 métaphores (1 par message) sélectionnées de façon aléatoire par l'expérimentateur. Les métaphores sont présentées sous forme d'icônes visuelles (voir Figure 40). Il est précisé à chacun des participants

qu'une fois qu'ils ont créé leurs motifs ils doivent être capables de reconnaître la métaphore avec seulement les vibrations.

3- Une fois que les 7 motifs vibratoires ont été créés, l'expérimentateur les présente au participant de façon aléatoire. Le participant doit alors verbaliser la métaphore auquel le motif est rattaché.

Chaque motif haptique est enregistré sous forme de fichier dans l'interface, ce qui permet de conserver les paramètres exacts de chaque motif. Pour chaque fichier de motif, il est joint le nom du participant et la métaphore concernée.

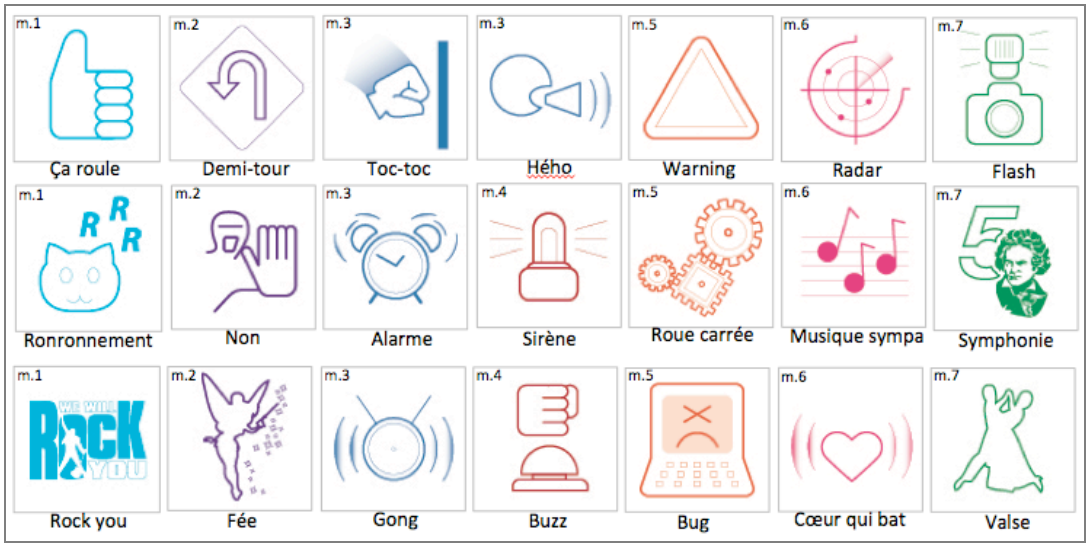


Figure 40. Icônes visuelles représentant les 21 métaphores sélectionnées lors de l'expérimentation B.2.

3.3.2. Résultats

Cette expérimentation nous a permis de récolter 175 motifs vibratoires (7 par participant). Tous les participants se sont pris au jeu de la conception de motifs vibratoires et ont trouvé cette expérience facile et amusante.

Voici un exemple de motif vibratoire créé pour la métpahore « ça roule » correspondant au message m.1 : «rassure l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route ».

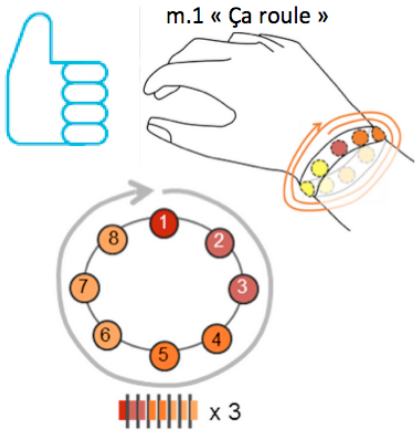


Figure 41– exemple de motif vibratoire pour la métaphore « ça roule » correspondant au message m.1.

Le motif vibratoire présenté ci-dessus correspondant à la métaphore « ça roule » consiste en un mouvement circulaire autour du poignet, répété trois fois avec une intensité décroissante.

Après la conception des 7 motifs, les participants ont été invités à identifier leurs propres motifs. Les 7 motifs étaient présentés de façon aléatoire. 88% des participants ont fait entre 0 et 2 erreurs

et seulement 3 participants ont fait 3 erreurs. La plupart des erreurs ont été attribuées à la conception de motifs aux paramètres trop proches.

3.4. Identification des paramètres perceptifs saillants

Compte tenu du nombre élevé de motifs recueillis au cours de l'étape précédente, l'expérimentation qui suit consiste à catégoriser les 175 motifs afin de déterminer les paramètres perceptifs saillants permettant de les différencier et ainsi pouvoir sélectionner les paramètres les plus distinguables et représentatifs pour chaque métaphore. Cette expérimentation doit également permettre d'identifier les paramètres pouvant être utilisés pour la conception d'interaction avec des vibreurs de façon plus générale.

3.4.1.a) Méthodologie

Pour cela un jury de quatre personnes (3 experts en haptique et un novice) ont catégorisé les 175 motifs, à l'aide d'une méthode semblable à celle du tri de cartes, pour définir un ensemble de catégories de motifs en fonction de leurs paramètres perceptifs saillants. L'objectif donné à chaque jury était dans un premier temps de regrouper les motifs perçus comme semblables et de nommer chaque catégorie en fonction du paramètre dominant. Cette tâche était réalisée de façon individuelle par chacun des jurys et tous ont porté le bracelet vibrant pendant la tâche de catégorisation afin de pouvoir jouer les motifs autant de fois qu'ils le désiraient. Les catégories définies par chacun des jurys ont ensuite été comparées les unes aux autres. Les catégories communes à au moins 2 jurys ont été conservées et ont permis d'élaborer une classification de motifs vibratoires commune aux 4 jurys.

3.4.1.b) Résultats

La classification qui en a résulté tient compte des catégories communes à au moins deux jurys. Cette classification a permis de mettre en évidence deux types de paramètres : les paramètres structurels qui définissent l'identité du motif et les paramètres de réglage permettant la modulation globale du motif. Trois principaux paramètres structuraux ont été identifiés qui peuvent également se combiner :

• La variation du rythme : comprend les motifs avec des mélodies complexes, ou représentant une à trois répétition de la même vibration.

• La variation de l'amplitude du motif : elle est définie soit par une amplitude croissante et/ou par une amplitude décroissante, ou encore par une oscillation de l'amplitude.

• La variation de la localisation : les groupes de motifs de forme circulaire, demi-circulaire, et aller-retour autour du poignet ainsi que d'autres variantes plus complexes.

Les paramètres de réglage comprennent : le nombre de répétitions du motif, le tempo (vitesse globale du motif) et le niveau d'amplitude global.

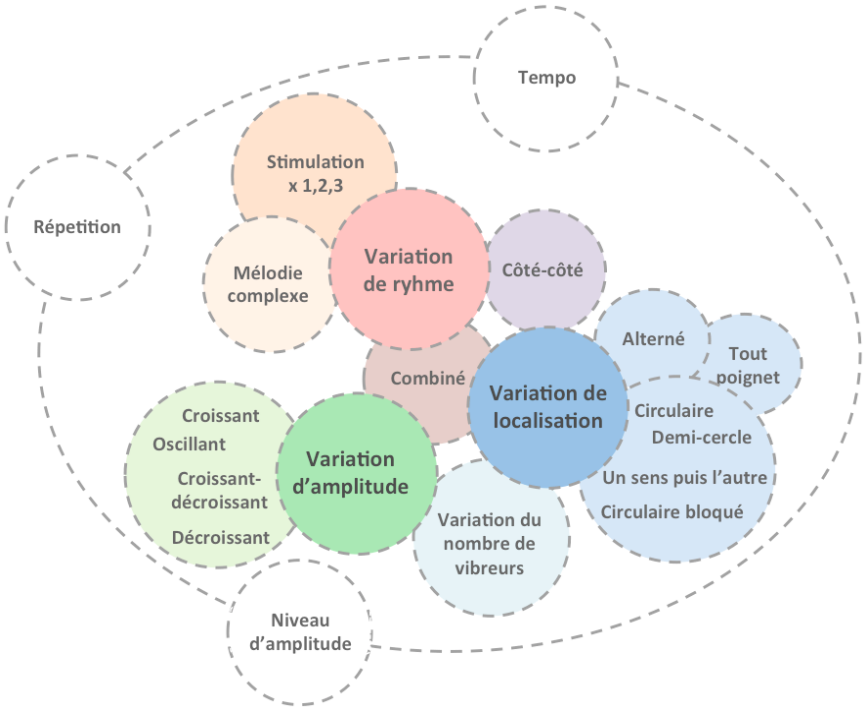


Figure 6: Classification des différents paramètres résultant du brainstorming des jurys

3.5. Classification des motifs en fonction des catégories perceptives

La catégorisation des motifs vibratoires élaborée à l'étape précédente a ensuite été utilisée pour sélectionner les motifs vibratoires les plus significatifs pour chacune des 21 métaphores.

La catégorisation définie précédemment a été utilisée par un nouveau groupe d'utilisateurs pour répartir les 175 motifs vibratoires produits lors de l'étape 3. Il a ainsi été possible d'identifier un ou plusieurs paramètres représentatifs pour chaque motif vibratoire.

3.5.1.a) Méthodologie

Nous avons demandé à 25 participants de classer les 175 motifs dans les catégories définies dans la section précédente ainsi qu'une catégorie supplémentaire : la catégorie «inclassable». Tout d'abord, chaque catégorie a été décrite aux participants. Ensuite ils ont utilisé une interface de classement développée au laboratoire du LISA où les motifs étaient représentés par des touches numériques qui pouvaient être pressées pour jouer le motif correspondant pour ensuite pouvoir le déplacer dans les boîtes correspondant aux différentes catégories. En supprimant les modèles qui ont été considérés comme « inclassables » par la majorité des participants (70%), les 38 métaphores initialement utilisées ont été réduites à 21 métaphores distinctes. Cette étape nous a finalement permis d'obtenir 21 motifs vibratoires génériques correspondant chacun à une métaphore représentative d'un message du dispositif.

3.5.1.b) Résultats

A la fin de cette étape de classification, la fréquence d'association entre les motifs haptiques et les catégories ont été moyennés pour chaque métaphore sémantique (plusieurs modèles ont été conçus pour chaque métaphore). Cela a permis de caractériser les paramètres indispensables pour chaque métaphore (voir section précédente). Vingt et un motifs ont été reconçus pour chaque métaphore en gardant uniquement les paramètres les plus dominants afin de simplifier la perception du motif vibratoire. Ces motifs sont décrits sur la Figure 42 ci-dessous.

• Message 1 (« arrive du véhicule »): est représenté par les métaphores du gong, hého, toc-toc et de l'alarme. Le motif du gong est conçu avec la variation de localisation alors que les 3 autres sont conçus avec la variation du rythme (vibrations répétées n fois).

• Message 2 (« alerte d'un incident »): est représenté par un buzz (variation simple du rythme)

• Message 3 (« Indisponibilité d'un équipement du réseau »): comprend la roue qui devient carré (variation de la localisation), bug (variation du rythme simple avec une longue vibration).

• Message 4 ("mauvaise route"): est représenté par une fée, demi-tour (les deux avec des variations de localisation) et « non » en hochant la tête (courte vibration répétée 2 fois).

• Message 5 (« réassurance ») : est associé à une musique sympa, la fréquence cardiaque (variations complexes de rythme) et radar (variation de localisation).

• Message 6 (« point d'intérêt ») : est représenté par un flash (rythme de variation avec une courte vibration), la symphonie de Beethoven et de la valse (avec des variations rythmiques complexes).

• Message 7 (« information culturelle ») : est représenté par la sensation de rouler (variation de la localisation), "We will rock you" (variation complexe du rythme) et ronronnement (variation de l'amplitude).

Nous constatons que les motifs correspondant au même message n'appartiennent pas nécessairement à la même catégorie de paramètres.Ainsi, une certaine confusion pourrait être possible entre les motifs correspondant aux différents messages. Par ailleurs, les motifs ayant été conçus en statique, il est important que la dernière étape de conception permette d'évaluer la performance de chacun en mobilité.

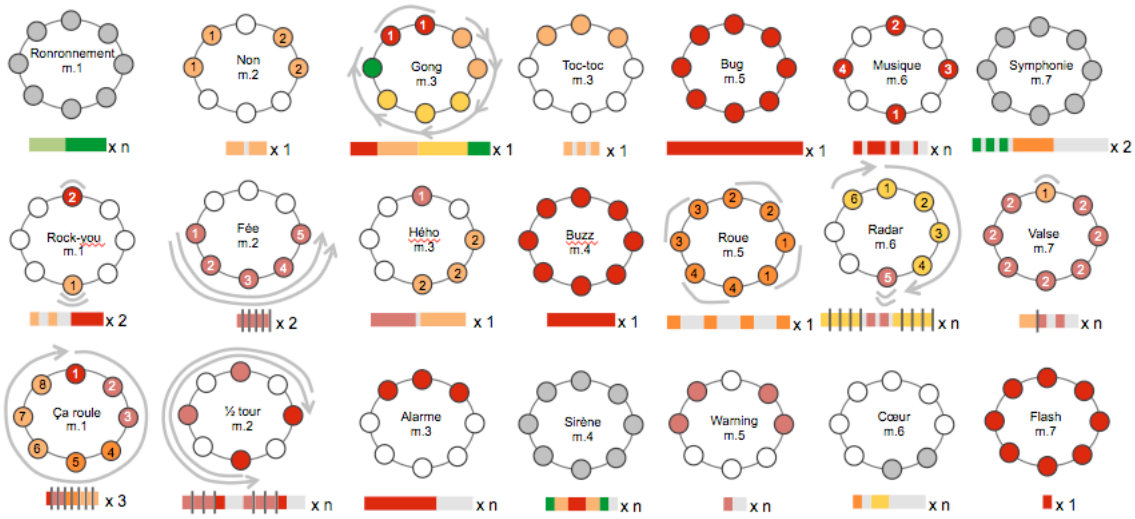


Figure 42. Motifs conçus pour chacune des métaphores et chaque message (indiqués au centre du bracelet). Les couleurs représentent le niveau d'amplitude : vert clair pour 1, vert foncé pour 2, et un dégradé de couleur du jaune au rouge pour les niveaux 3 à 7. Les nombres et les flèches indiquent l'ordre de vibration. La barre sous chaque motif donne les informations de durée (longueur de la barre), répétition (x nombre), les pauses entre les vibrations (gris clair) et les changements entre les actionneurs sans changement d'amplitude, ni de pause (barre verticale gris foncée).

3.6. Evaluation des motifs en mobilité

Cette expérimentation vise à évaluer les motifs vibratoires en mobilité en environnement de laboratoire. L'objectif était d'abord de savoir si les métaphores étaient bien identifiées après un court apprentissage, et évaluer la satisfaction des utilisateurs vis à vis de ce type d'interaction.

Nous avons également pu évaluer la satisfaction des participants par rapport à la correspondance motif-métaphore-message système ainsi que sur la facilité à identifier chacun des motifs vibratoires. Cette étape de validation a également permis d'apporter des pistes d'améliorations fonctionnelles au prototype et définir des combinaisons de motifs vibratoires interdites pour cause de confusion et de donner aux utilisateurs la possibilité de personnaliser leur langage.

3.6.1. Méthodologie

25 utilisateurs futurs, dont 8 femmes et 16 hommes (M=34,7) ont pris part à cette expérimentation. Tous portaient le bracelet vibrant à leur poignet. L'étude a commencé par cinq minutes de familiarisation avec les 21 motifs/métaphores. Les participants pouvaient appuyer sur les icônes visuelles des métaphores, affichées sur un Tablet PC, ce qui généréait le motif vibratoire associé. Les participants ont ensuite été invités à évaluer leur degré de satisfaction à propos des motifs vibratoires sur une échelle de Likert allant de 0 à 10 (un score élevé indiquant une note très positive). Le taux de «satisfaction» a été présenté comme un score global évaluant la correspondance entre la métaphore et le motif vibratoire que la performance de reconnaissance subjective. Après cette introduction, les 21 motifs ont été générés de façon aléatoire et les participants en position statique puis en situation de mobilité ont été invités à identifier la métaphore associée. Durant cette phase d'entraînement, les participants ont eu un retour sur l'exactitude ou non de leurs réponses. Tout au long de l'expérience (apprentissage et test), une feuille présentant les différentes métaphores (icônes visuelles et noms) était à disposition des participants afin de réduire la charge de la mémoire de travail. Dans le test de reconnaissance en situation de mobilité, les 21 motifs vibratoires ont été présentés aux participants trois fois chacun dans un ordre aléatoire. Les participants ont indiqué oralement la métaphore à laquelle il rattachaient chaque motif et l'expérimentateur enregistrait les réponses sur la tablette tactile. A la fin du test, les participants devaient évaluer à nouveau chaque motif à l'aide de l'échelle de Likert.

3.6.2. Résultats

Les résultats de l'étude en mobilité ont été analysés à travers une matrice de confusion (voir Figure 43). Cette matrice a permis de définir le taux de reconnaissance pour les 21 motifs vibratoires, ainsi que les taux de confusion avec les autres motifs.

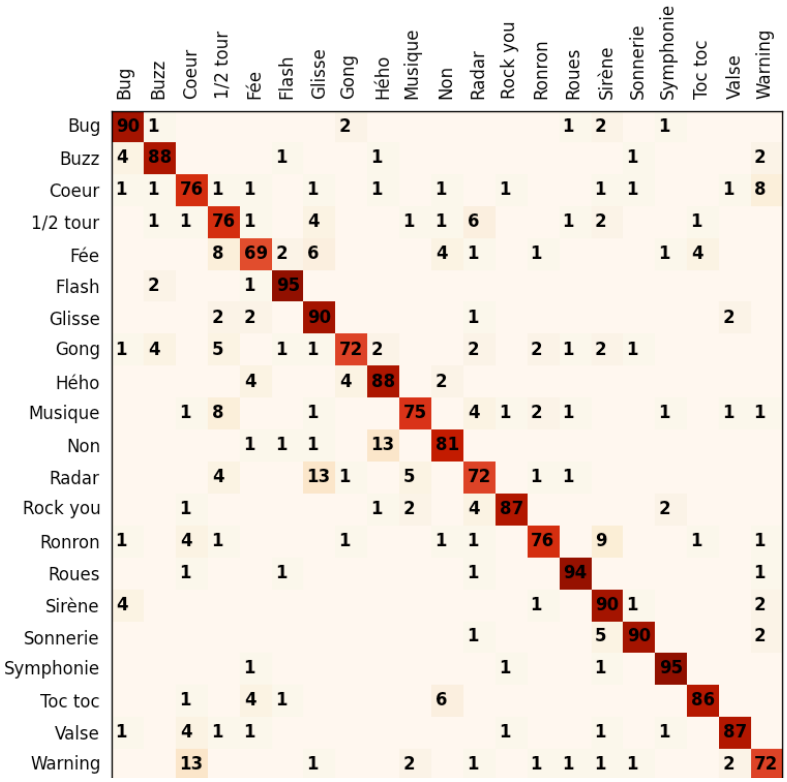


Figure 43. Résultats d'identification issus de l'évaluation en mobilité.

La matrice de confusion nous montre que dans l'ensemble tous les motifs sont très bien identifiés. Le taux de reconnaissance moyen était de 83,3%. Sur 63 présentations (3x 21 motifs) les motifs ont été reconnus en moyenne 52 fois. 13 motifs ont un taux de reconnaissance à plus de 80%, 7 entre 70 et 80%, et un seul avec un taux de 69%. Cela montre que les tendances globales ont été bien

perçues dans la mobilité, mais certains sont mieux reconnues que d'autres en mobilité. Le taux le plus élevé de confusion atteint 13%. Ceci n'a été observé que pour trois paires de motifs: «Cœur» et «Attention», qui ont une variation rythmique semblable; «Radar» et «glisse», les deux ayant un mouvement circulaire, et 'Heho' et 'Non', qui ont été les deux modèles avec deux vibrations dans le temps avec une seule répétition (voir figure 3).

En plus des taux d'identification, la satisfaction des participants à propos de chaque modèle a été également évaluée avant et après le test de mobilité. Les modèles ont atteint un bon niveau de satisfaction (moyenne = 7,34 ; écart-type = 1,9) dans des conditions statiques (voir Figure 44). Le niveau de satisfaction était bon également en mobilité (moyenne = 7,21, écart-type = 2,01). Cependant, l'écart type suggère une variabilité de la satisfaction parmi les participants (voir figure 5). Ce résultat est probablement dû en partie à des différences de sensibilité aux vibrations et à l'acceptation personnelle des métaphores.

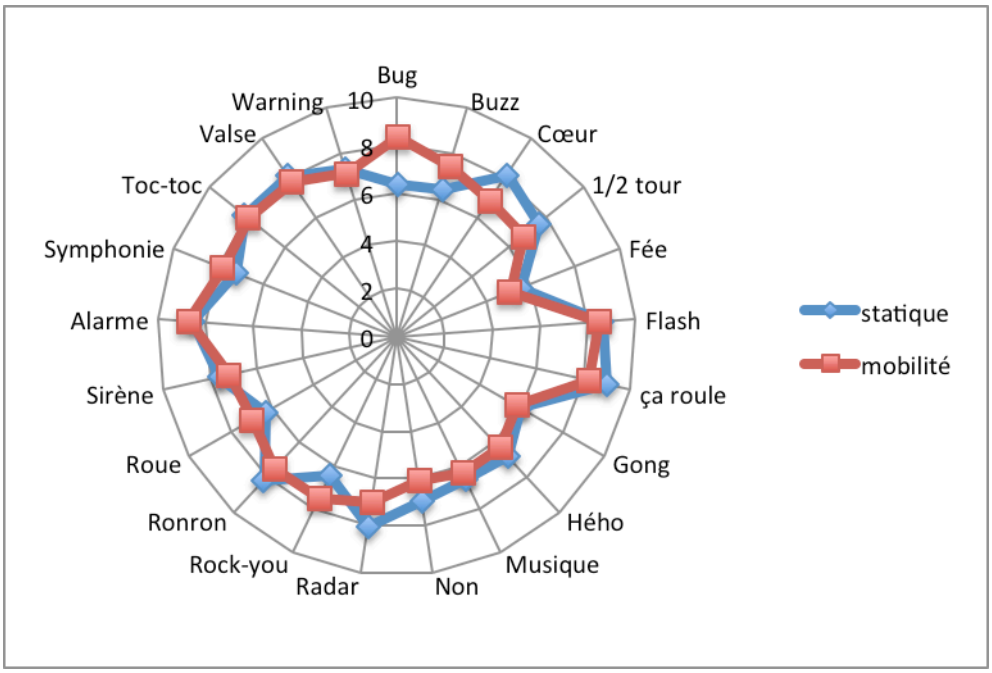


Figure 44. Notes moyennes issues de l'échelle de Likert données à chaque motif vibratoire (1 est la note la plus basse, 10 la plus haute). Les barres bleues correspondent aux notes en statique et les bares rouges en mobilité.

3.7. Discussion

Cette partie empirique n°2 présentait la méthodologie visant à créer des motifs vibratoires pour un outil de soutien à l'activité de déplacement piéton urbain pour des voyageurs occasionnels. L'étude de leurs besoins a indiqué que le guidage est une fonction importante de cet outil mais d'autres fonctionnalités comme par exemple, la réassurance d'être sur la bonne route ou bien les alertes sur un incident sur la ligne sont aussi nécessaires. Par conséquent, nous avons recueilli et collecté les métaphores correspondant aux besoins des utilisateurs. Elles ont ensuite été utilisées comme point de départ pour la conception de l'interaction haptique.

Le résultat final correspondant à un ensemble de motifs vibratoires a été ensuite évalué en mobilité afin de valider leur conception et leur caractère discriminant. Les résultats de cette étude indiquent qu'après un très court apprentissage, les participants ont un bon taux de reconnaissance (83%). Ce résultat est cohérent avec les données de Chan, MacLean, & McGrenere, (2008) indiquant qu'après une phase courte d'apprentissage, le taux de reconnaissance était de 95% pour 7 icônes ayant une relation étroite avec leur signification. Jones, Kunkel, & Piateski, (2009) ont également indiqué une identification avec un score moyen de 96% pour 15 signaux haptiques mimant des gestes fournis par écran tactile sur le dos. Cependant notre étude a utilisé un grand nombre d'items (21 items). Ce résultat suggére une relation inverse entre le nombre de motifs et le taux de reconnaissance. Mais il semble cependant possible avec des motifs vibratoires, de concevoir des applications avec un nombre de motifs supérieur à sept (Enriquez, M, MacLean, & Chita, 2006)).

Les motifs haptiques conçus pour cet outil sont basés sur trois paramètres principaux : le rythme, la modulation de l'amplitude et le changement de localisation de la vibration autour du poignet. Ces paramètres sont similaires à ceux qui ont été utilisés par d'autres auteurs (Brown, Brewster, & Purchase, 2005), mais ils en diffèrent également par la richesse de l'espace de conception offert par le bracelet en comparaison des vibreurs embarqués sur un téléphone cellulaire.

Les évaluations subjectives ont montré des écarts importants dans la reconnaissance des motifs par les participants, ce qui souligne les différences de préférences chez les utilisateurs. Une solution serait de fournir à l'utilisateur une interface dédiée au réglage des motifs vibratoires en fonction de ses préférences. Notre étude a montré que ces réglages peuvent concerner la variation de tempo, le nombre de répétitions du même motif et le niveau d'amplitude global du motif.. L'autre possibilité est de laisser l'utilisateur choisir ses motifs préférés en proposant un espace de conception limité et restreint afin d'éviter la confusion possible entre des modèles légèrement différents. Par exemple, si l'utilisateur final sélectionne le motif « cœur » pour le message « réassurer », l'application devra supprimer le motif « warning » de la liste des motifs possibles pour le message 3.

4. Etude sur l'intérêt d'un pré-signal vibratoire

4.1. Contexte et objectifs de l'étude

Nous savons que la modalité haptique est une modalité sensorielle efficace pour attirer l'attention du piéton, afin de lui communiquer en temps réel des informations liées à son activité de déplacement. Cependant, il est important de prendre en compte que le voyageur est confronté continuellement à de multiples stimulations sensorielles.

Le déplacement d'un piéton-voyageur est une succession de trajets dans lesquels, le sujet est tantôt mobile sur une infrastructure immobile (marche à pied) et tantôt quasiment immobile sur une infrastructure mobile (véhicule, ascenseur, tapis roulant, escalators). Il est alternativement et respectivement « conducteur à pied » et passager. Cela impacte sur :
- la vigilance qui peut être soutenue ou abaissée,
- l'attention qui peut être saturée, partagée ou disponible,
- la disponibilité de l'individu à sa sollicitation qui peut être faible ou grande
- la hiérarchie de priorité des besoins informationnels.

Parmi les stimulations auxquelles est soumis l'utilisateur certaines sont utiles à son activité alors que d'autres s'avèrent non pertinentes. L'attention a donc pour fonction de faire le tri parmi ces différentes informations afin d'en limiter le nombre à traiter (Broadbent, 1956). De temps à autre, ce système de contrôle attentionnel peut s'avérer défaillant lorsque l'usager est inattentif à la situation de déplacement. Comme nous avons pu le constater dans la partie empirique n°1, le voyageur peut être amené à réaliser des activités annexes au trajet par exemple : lire, écrire un SMS, ou bien d'autres activités non liées à l'activité de déplacement. Ces activités vont alors mobiliser les capacités attentionnelles du voyageur. Il y a donc détournement des capacités attentionnelles de l'activité de déplacement vers les activités annexes (Lemercier & Cellier, 2008).

Cette étude vise à évaluer l'intérêt de présenter un pré-signal vibratoire, ou « jingle vibratoire », avant les motifs vibratoires, délivrés par le bracelet. Ce pré-signal permettrait de prévenir l'utilisateur de l'arrivée imminente d'un motif vibratoire. Cela permettrait de focaliser l'attention de l'utilisateur vers les informations de déplacement que l'on souhaite lui communiquer à un moment précis et quelle que soit sa situation de déplacement. Le fait d'utiliser un pré-signal n'est pas nouveau. Le principe est utilisé dans différents environnements chargés en information comme par exemple dans les gares SNCF. Les gares sont des environnements bruyants et chargés cognitivement. Les annonces auditives diffusées par les haut-parleurs sont toujours précédées d'un signal audio caractéristique (petite musique) permettant d'attirer l'attention du voyageur et lui permettre ainsi d'être pleinement attentif à l'information qui succède. Pour notre cas de conception du bracelet, le pré-signal pourrait être considéré comme une distraction attentionnelle. Il permettrait de focaliser l'attention de l'utilisateur sur l'interprétation du futur motif vibratoire,

sans que celui-ci vienne modifier les ressources attentionnelles visuelles et auditives mises en jeu lors de son activité de déplacement (Wickens, 1994).

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

1. Evaluer l'intérêt de présenter un pré-signal vibratoire avant chaque message.

Hypothèse 1.1 : Un pré-signal vibratoire devrait permettre d'améliorer le taux de reconnaissance des motifs vibratoires.

Hypothèse 1.2 : Un pré-signal vibratoire devrait également améliorer le temps de réponse.

Nos hypothèses se justifient par le fait que le jingle est considéré comme un signal d'orientation exogène de l'attention (Posner, Snyder, & Davidson, 1980) du participant vers le futur message vibratoire portant sur son activité de déplacement. Le pré-signal permettrait donc de se préparer à l'interprétation du message vibratoire dès son commencement.

2. Etudier le résultat de l'interaction entre la présence d'un pré-signal vibratoire et des situations de déplacement, qui engendrent une charge de travail variable.

Hypothèse 2.1 : L'apport d'un pré-signal vibratoire devrait être d'autant plus important que la charge de travail est élevée.

Hypothèse 2.2 : Le taux de réussite devrait être plus élevé et le temps de réponse devrait être plus court pour le groupe avec un pré-signal vibratoire lors des différentes situations de déplacement.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Participants

36 volontaires, dont 8 femmes et 28 hommes (M = 27,88 ans ; SD = 6,56 ans), ont été sélectionnés pour participer à cette étude. Parmi les participants, trente sont ingénieurs – chercheurs ou bien étudiants dans le domaine de l'ingénierie au CEA. Les six autres participants présentent des profils variés et ne travaillent pas pour le CEA. Chaque participant a été affecté aléatoirement dans un des deux groupes : (1) avec pré-signal, (2) sans pré-signal. Le groupe sans pré-signal compte dix huit participants, dont 3 femmes et 15 hommes (M = 28,44 ans ; SD = 7,43 ans) ; le groupe avec pré-signal compte aussi dix huit participants dont 5 femmes et 13 hommes (M = 27,33 ans ; SD = 5,74 ans). Tous les participants sont novices dans l'utilisation d'un dispositif générant des interactions vibratoires.

4.2.2. Variables dépendantes

Les deux variables dépendantes sont :

- le taux de réussite (en pourcentage), il est représenté par le pourcentage d'identification correcte des motifs vibratoires.

- le temps de réponse (en seconde), il correspond à un résultat en seconde, et a été calculé à l'aide de l'équation suivante : pour le groupe sans pré-signal, T réponse = (T motif + T verbalisation + T enregistrement tablette) – (T motif) ; et pour le groupe avec pré-signal : T réponse = (T pré-signal + T intervalle + T motif + T verbalisation + T enregistrement tablette) – (T jingle + T intervalle + T motif). Cette équation est représentée de façon schématique dans la figure ci-dessous :

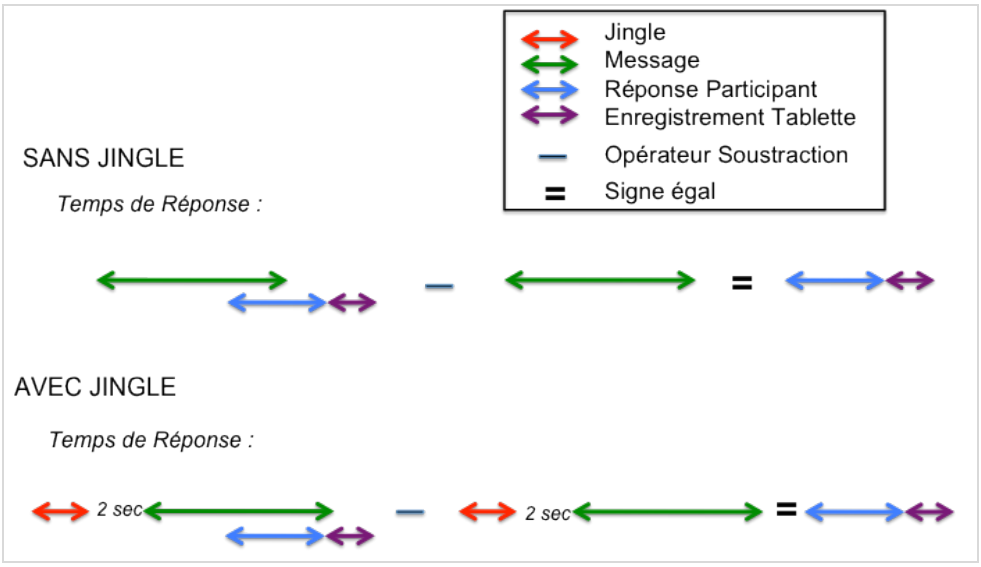


Figure 45. Représentation schématique du temps de réponse pour les groupes avec et sans pré-signal (jingle).

4.2.3. Matériel

4.2.3.a) Bracelet vibrant et téléphone

Les participants sont équipés de deux dispositifs. Le bracelet vibratoire permet à l'utilisateur de ressentir les vibrations autour de son poignet. Un téléphone portable est utilisé pour écrire un SMS, et répondre à un appel téléphonique préenregistré.

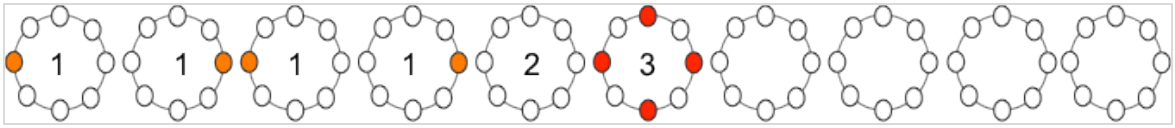


Figure 46. Motif vibratoire retenu comme pré-signal (durée = 9 ms). Le motif vibratoire utilise seulement six trames, et les vibreurs 1, 3, 5 et 7. La trame numéro cinq correspond à un temps de pause de deux ms. L'amplitude des quatre premières vibrations est moyenne, alors que celle de la dernière vibration est forte.

4.2.3.b) Tablette tactile

Lors de la phase d'expérimentation nous avons eu à disposition une tablette tactile, dans laquelle une application nous a servi d'interface de commande pour envoyer les messages vibratoires au bracelet via une connexion Bluetooth. L'interface a aussi permis de récupérer automatiquement les scores (temps de réponse et taux de réussite), après que l'expérimentateur ait cliqué sur le motif vibratoire de l'interface correspondant à la verbalisation du participant.

4.2.4. Déroulement de l'expérimentation

4.2.4.a) Pré-test

Afin d'étudier l'effet de la présence d'un pré-signal sur la compréhension des motifs vibratoires en fonction de différentes situations impliquant une charge de travail variable, nous avons utilisé le paradigme de la double tâche (Baddeley, 2002) pour reproduire cet effet. Ce paradigme consiste à mettre en concurrence deux tâches : la tâche principale de détection des motifs vibratoires en situation de mobilité que l'on cherche à étudier, et les tâches secondaires d'écriture d'un SMS ou de réponse à un appel (i.e., activités annexes au déplacement), censées mobiliser de nouvelles ressources cognitives (Tableau 4). Nous avons sélectionné ces deux tâches secondaires car elles n'utilisent pas les mêmes processus cognitifs que la tâche primaire. Ceci permet en théorie de ne pas influencer les performances de la tâche principale. Avant de commencer les expérimentations nous avons réalisé des pré-tests sur deux personnes, afin de vérifier que la charge de travail

impliquée lors de la marche associée à une tâche secondaire est plus importante que celle mise en jeu lors de la situation de marche uniquement.

Situations de déplacement accompagnées de l'identification des messages vibratoires à voix haute		
Tâche primaire	Tâches secondaires	
Marcher	Marcher + répondre à un appel	Marcher + écrire un SMS

Figure 47. Présentation des différentes situations de déplacement choisies en fonctions des caractéristiques du paradigme de double tâche (Baddeley, 2002).

4.2.4.b) Apprentissage

Après avoir présenté le contexte du projet Tictact et l'objectif de cette expérimentation au participant, celle-ci s'est déroulée en trois phases.

La première est la phase d'apprentissage. Les participants sont tout d'abord amenés à se familiariser avec les sept messages vibratoires (Tableau 2, section 3.1.) pendant trois minutes. Un test de reconnaissance des sept messages, en situation statique assise, a ensuite été animé par l'expérimentateur. Si le taux de réussite est supérieur à 70%, nous considérons que les réponses des sujets ne sont pas liées au hasard. Les participants peuvent alors continuer la phase d'apprentissage. La dernière partie de l'apprentissage se déroule en situation de mobilité et consiste à enregistrer le taux de réussite, pour les sept messages vibratoires, émis deux fois aléatoirement.

La deuxième phase correspond à la phase de test. Les participants sont invités à réaliser un parcours simple ne demandant pas de prise de décision. Tout en marchant et quel que soit le groupe (avec ou sans jingle), le participant reçoit des messages vibratoires tirés aléatoirement parmi les sept messages proposés lors de la phase d'apprentissage.. Il est demandé aux participants de verbaliser à voix haute le nom des messages ressentis lors de différentes situations de déplacement. :. Les différentes situations de déplacement (marcher, marcher + écrire un SMS et marcher + répondre à un appel) sont placées de façon aléatoire deux fois pendant le parcours. La durée du parcours est de 25 à 30 minutes. L'expérimentateur informe le participant de la tâche à réaliser au fur et à mesure du parcours. Pendant chaque condition les sept messages vibratoires sont également présentés aléatoirement (Figure 4).

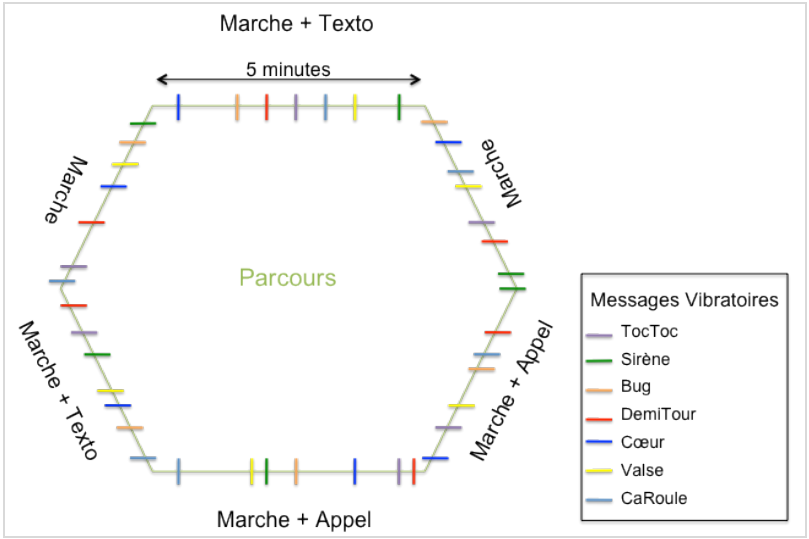


Figure 48. Représentation schématique d'un parcours expérimental. Les cotés de l'hexagone représentent les différentes situations de déplacement placées aléatoirement. Les barres colorées représentent la présentation aléatoire des sept messages vibratoires.

4.2.5. Traitement des données

Les mesures de performance, correspondant au taux de réussite et au temps de réponse, sont automatiquement enregistrées dans des fichiers logs sur la tablette tactile. Des comparaisons entre les deux groupes ont ensuite été réalisées grâce à des analyses utilisant le test de Student, avec ou sans mesure répétée selon le cas. Le seuil de significativité est fixé à $p < 0.05$.

4.3. Résultats

Ce travail se propose d'étudier l'impact de présenter un jingle vibratoire avant les différents messages vibratoires sur les paramètres suivants :

- le taux de réussite et le temps de réponse global et en fonction des différents messages (Figure 49 et Figure 50)

- le taux de réussite et le temps de réponse en fonction des différentes situations de déplacement, à savoir marcher, marcher et écrire un SMS, et marcher et répondre à un appel (Figure 51).

4.3.1. Effet du jingle sur le taux de réussite global et en fonction des différents messages vibratoires

La Figure 49 indique le niveau de performance globale, c'est à dire quelle que soit la situation de déplacement ou le message vibratoire joué, de la variable dépendante taux de réussite. Le groupe avec jingle obtient un taux de réussite moyen de 91,5% (*SD* = 7,8%). Le groupe sans jingle obtient un taux de réussite moyen de 89,9% *SD* = 9,1%). La différence n'est pas significative (p=0,577).

Tous les messages vibratoires ont été très bien identifiés par les deux groupes (Figure 49.B). En effet, le taux de réussite oscille entre 82,3% et 97,2%. Les taux de réussite respectifs dans le groupe avec jingle et dans le groupe sans jingle sont les suivants :

. Pour le message Toctoc : 94,4% contre 88,8%,
. Pour le message Sirène : 97,2% contre 92,5%,
. Pour le message Bug : 96,2% contre 94,4% ;
. Pour le message Demi-tour : 91,6% contre 88,8% ;
. Pour le message Cœur : 89,8% contre 86,1% ;
. Pour le message Valse : 82,3% contre 86,1% ;
. Pour le message Ça Roule : 92,5% contre 96,2%.

Globalement les taux de réussite sont excellents dans les deux groupes et les différences ne sont pas significatives.

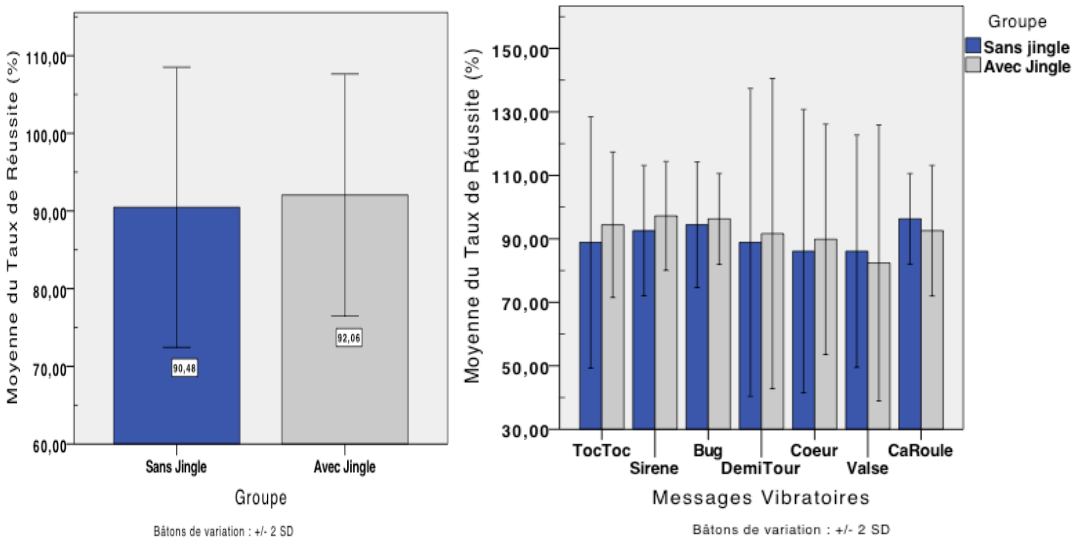


Figure 49. Moyenne et écart type pour la variable dépendante taux de réussite (%) en fonction des deux groupes (A), et Moyenne du taux de réussite (%) du groupe avec et sans jingle en fonction des différents messages vibratoires (B).

4.3.2. Effet du jingle sur le temps de réponse global et en fonction des différents messages vibratoires

La Figure 50.A présente le temps de réponse global, c'est à dire quel que soit le message vibratoire et la situation de déplacement. Le groupe sans jingle obtient en moyenne un temps de réponse de 0,41 sec (SD = 2,01) alors que le groupe avec jingle obtient un score négatif de – 0,12 sec (SD = 1,51). La présence de scores négatifs indique que le groupe avec jingle a tendance à verbaliser la signification des messages avant la fin des messages. La différence entre les temps de réponses des deux groupes n'est pas significative (p=0.37).

Les temps de réponse entre les deux groupes en fonction des différents messages vibratoires sont présentés sur la figure 6. B.

Les temps sont respectivement pour le groupe avec jingle et pour le groupe sans jingle :

Toctoc : 4,53 sec contre 4,67 sec
Sirène : -3,06 sec contre -2,15 sec
Bug : 1,25 sec contre 1,55 sec ;
Demi-Tour : -6,56 sec contre -6,07 sec ;
Cœur : -0,56 sec contre 1,92 sec;
Valse : -0,25 sec contre -0,81 sec;
Ça Roule : 3,82 sec contre 3,77 sec

Les différences observées entre les deux groupes ne sont pas significatives.

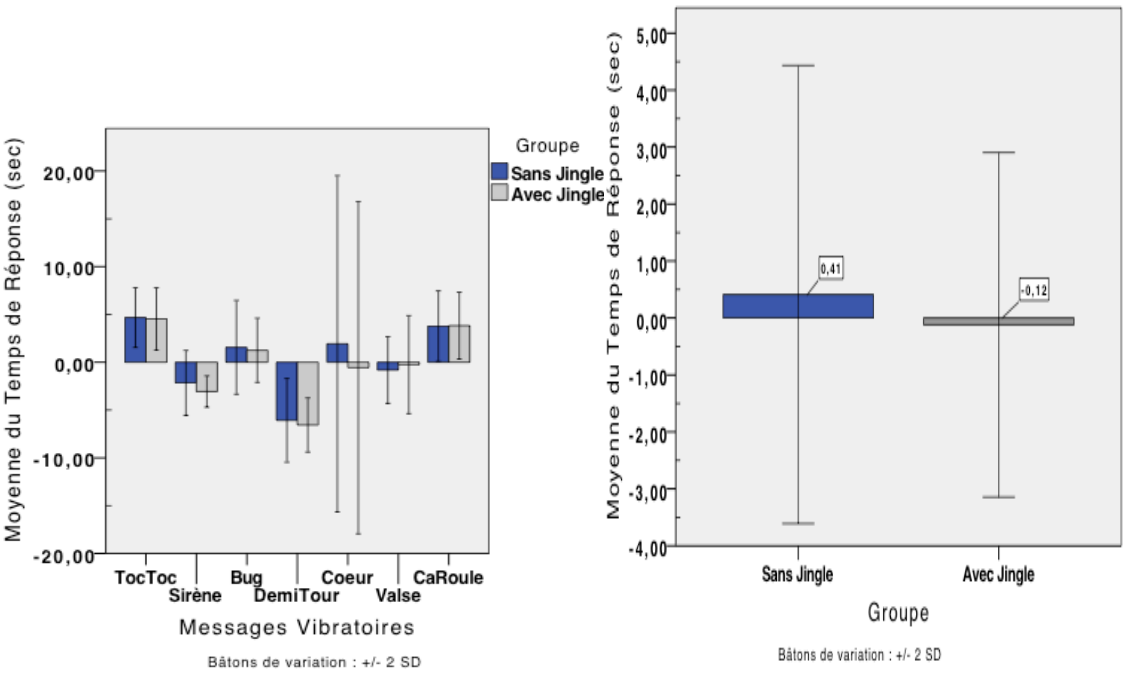


Figure 50. Moyenne et écart type pour la variable dépendante temps de réponse (sec) en fonction des deux groupes (A) et Moyenne du temps de réponse (sec) du groupe avec et sans jingle en fonction des différents messages vibratoires (B).

4.3.3. Effet de l'interaction entre la présence d'un jingle et les situations de déplacement qui engendrent une charge de travail variable

4.3.3.a) Charge de travail en fonction des différentes situations de déplacement

Afin de valider ou d'infirmer l'hypothèse 2.1, nous avons tout d'abord analysé les charges de travail générées lors des différentes situations de déplacement :

(1) marcher et répondre à un appel
(2) marcher et écrire un SMS

(3) marcher sans tache supplémentaire.

Nous avons demandé aux participants d'évaluer, à l'aide d'une échelle de type Likert en 9 points (0=faible et 9=élevée), le niveau de la charge de travail ressentie lors des différentes situations de déplacement (Figure 51.A).

Dans le groupe avec jingle, les charges de travail suivantes ont été observées :

. Situation 1 : M = 4,89 ; SD = 1,78
. Situation 2 : M = 5,00 ; SD = 2,13
. Situation 3 : M = 2,13 ; SD = 1,42.

Dans le groupe sans jingle les charges de travail suivantes ont été observées :

. Situation 1 : M = 5,65 ; SD = 2,17
. Situation 2 : M = 5,11 ; SD = 1,77
. Situation 3 : M = 2,28 ; SD = 1,65.

L'analyse statistique confirme que dans les deux groupes, l'ajout à la marche de taches secondaires entraîne bien un ressenti de charge de travail supplémentaire de la part des participants. (Tableau 23).

	Conditions comparées	**p**
Sans Jingle	Marche +Appel vs Marche	0,0001
	Marche + SMS vs Marche	0,0001
Avec Jingle	Marche + Appel vs Marche	0,0001
	Marche + SMS vs Marche	0,0001

Tableau 23. Résultat du test de Student montrant la différence significative entre les moyennes de la charge de travail par rapport aux différentes situations de déplacement.

4.3.3.b) Moyenne du taux de réussite en fonction des différentes situations de déplacement

La Figure 51.B présente la moyenne du taux de réussite des deux groupes en fonction des différentes situations de déplacement.

Pour le groupe sans jingle, les taux moyens de réussite sont les suivants :

. Situation marche sans ajout de tache secondaire : M = 93,6 ; SD = 8,7).
. Situation marche + réponse à un appel : M = 86,1 ; SD = 14,9
. Situation marche + écriture d'un SMS : M = 91,6 ; SD = 10,7 ;
La différence est uniquement significative entre la situation marche + réponse à un appel et la situation marche (p = 0.026).

Pour le groupe avec jingle, les taux moyens de réussite sont les suivants :

. Situation marche sans ajout de tache secondaire :M = 94,4, SD = 10,2)
. Situation marche + écriture d'un SMS : M = 91,2 ; SD = 8,6
. Situation marche + réponse à un appel : M = 90,8 ; SD = 7,6).
Il n'y a aucune différence significative. De plus, bien que le groupe avec jingle semble obtenir de meilleurs résultats que le groupe sans jingle, lors de chaque situation de déplacement, cette différence n'est pas significative. Le taux de réussite est donc identique quel que soit le groupe.

4.3.3.c) Moyenne du temps de réponse en fonction des différentes situations de déplacement

La moyenne des temps de réponse en fonction des différentes situations de déplacement est représentée par la figure 7. C.

Pour le groupe sans jingle, les temps de réponse moyens sont les suivants :

. Situation de marche sans ajout de tache secondaire : M = -0,28, SD = 1,37.

. Situation de marche + écriture d'un SMS M = 0,25 SD = 1,78.
. Situation de marche + réponse à un appel : M = 1,27, SD = 4,38.
Il n'est pas observé de différence significative entre ces temps de réponses.

Pour le groupe avec jingle les temps de réponse moyens sont les suivants :

. Situation de marche sans ajout de tache secondaire : M = -0,68 ; SD = 1,37
. Situation de marche + écriture d'un SMS : M = 0,03 ; SD = 1,31
. Situation de marche + réponse à un appel : M = 0,29 ; SD = 3,72).
Il n'y a aucune différence significative de temps de réponse entre les différentes situations de déplacement.

Les résultats n'indiquent pas de différence significative entre les deux groupes pour chaque situation de déplacement (Marche : p = 0,39 ; Marche + Appel : p = 0,47 ; Marche + SMS : p = 0,68).

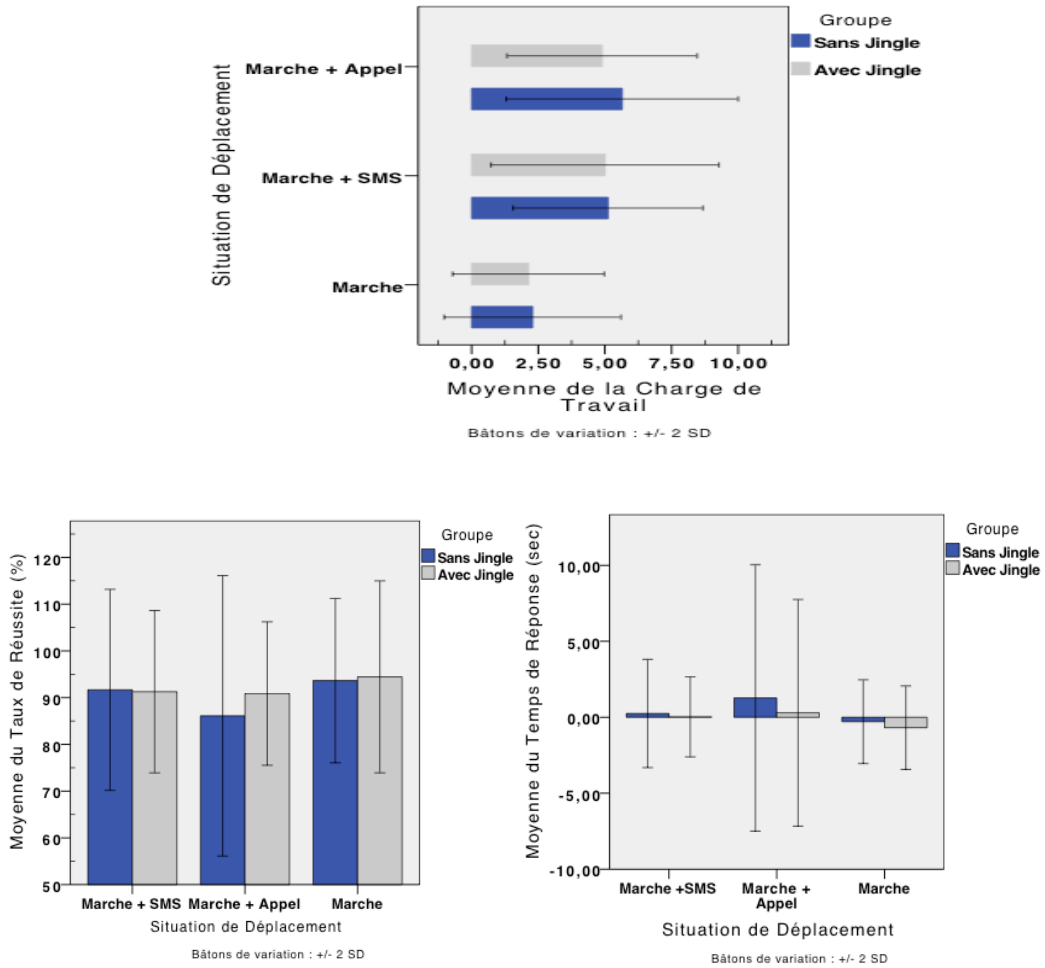


Figure 51. Présentation des résultats des différentes situations de déplacement en fonction de la moyenne de la charge de travail estimée par le groupe avec et sans jingle (A). Moyenne du taux de réussite en fonction des situations de déplacement pour les deux groupes (B). Moyenne du temps de réponse en fonction des situations de déplacement pour le groupe avec et sans jingle (C).

4.4. Discussion

Cette étude permet de préciser l'intérêt de présenter un jingle vibratoire avant chaque message vibratoire délivré par le bracelet, lors de différentes situations de déplacement. Les résultats ne démontrent pas l'utilité de présenter un jingle vibratoire avant chaque message vibratoire, quelle que soit la situation de déplacement analysée. Le taux de réussite globale n'est effectivement pas meilleur pour le groupe avec jingle et le temps de réponse globale n'est pas plus court pour le groupe avec jingle. Ces résultats pourraient s'expliquer par l'efficacité de la modalité haptique,

pour attirer l'attention du voyageur, y compris dans un environnement saturé de stimulus et par la sous-utilisation de cette modalité.. Ces résultats sont en accord avec ceux observés dans le domaine de la conduite automobile. En effet, Ho & al. (2005) ont montré que des signaux d'alerte vibro-tactiles, délivrés au niveau du ventre ou du dos des conducteurs, sont capables d'attirer efficacement leur attention sur une conduite qualifiée « à risque ». Il a été montré que les temps de réponse de conducteurs soumis à des signaux vibratoires était meilleur que ceux de conducteurs contrôles. D'autres études montrent l'intérêt des vibrations tactiles en tant que signaux préventifs pour éviter des accidents (Van Erp & Van Veen, 2001 ; Ho, Spence, et al., 2006).

Les résultats de notre étude montrent que la composante haptique permet aussi d'attirer l'attention des piétons sur des informations pertinentes à leur déplacement. Ces analyses nous permettent surtout de présenter un résultat novateur, qui concerne la puissance de la modalité haptique à focaliser l'attention du voyageur quelle que soit la charge de travail mise en jeu.

La présence de très grands écarts types souligne la variabilité inter individuelle de la perception de la modalité haptique. Ceci peut s'expliquer par la variabilité des réponses neuronales face à la stimulation (Goodwin & Wheat, 2008) et par les différences culturelles décrites précédemment pour le sens du toucher (Thayer, S).

Si on s'intéresse à l'effet de jouer un jingle vibratoire en fonction des différents messages, on conclut que les deux groupes obtiennent de bons taux de réussite et de bons temps de réponse pour chaque message vibratoire (M = 90,74%).

Un autre résultat intéressant est l'observation d'un succès général du taux d'identification des messages vibratoires. Ce succès peut provenir de l'efficacité des messages proposés, tant au niveau de leur design que de leur caractère discriminant. Ce résultat est en accord avec les données de l'étude de Brunet & al. (2013) qui rapportent un taux de reconnaissance de 83,3% sur vingt et un messages vibratoires en situation de marche. De même, les résultats de cette étude sont en accord avec l'expérimentation de Brown & al. (2005) qui rapportent un taux de reconnaissance de 93% pour trois messages vibratoires, différenciés grâce au rythme (SMS, message multimédia et message vocal).

Cette étude présente cependant certaines limites. Tout d'abord, la simulation d'une situation de déplacement accompagnée d'une autre activité (i.e., SMS et appel) a été difficile à reproduire dans le mesure où les utilisateurs, bien qu'en écrivant un SMS ou bien répondant à un appel, s'attendaient à recevoir des vibrations.

Ensuite, le nombre de messages vibratoires envoyés lors de chaque phase de déplacement a été très important. Ce nombre ne reflète pas parfaitement les conditions qui seraient celles d'un trajet réel. De plus, le nombre important de messages a pu diminuer l'effet de surprise attendu dans ces circonstances.

Enfin, l'environnement dans lequel s'est déroulé l'expérimentation était plutôt calme comparé à l'environnement sonore bruyant des transports en commun. Ainsi les expérimentations utilisées dans ce travail ne reproduisent que partiellement les situations complexes habituellement observées dans les transports. Cependant, l'approche expérimentale utilisée dans ce travail est confortée par les données Feige, (2009). Celui-ci montre en effet, un taux de reconnaissance similaire des messages vibratoires, que l'expérience se déroule en laboratoire ou bien dans un environnement urbain réel (94% contre 93%).

En conclusion, nous retenons, d'une part, que l'option « jingle vibratoire » ne sera pas proposée par l'interface du bracelet. Le jingle ne permet pas en effet d'améliorer le taux de reconnaissance des messages vibratoires lors des différentes situations de déplacement.

D'autre part, ce travail met en exergue la puissance de la modalité haptique pour attirer l'attention des voyageurs quelle que soit la charge de travail mise en jeu, dans un nouveau domaine, celui du déplacement piéton urbain, alors que l'intérêt de la modalité haptique avait été surtout jusqu'ici décrit dans le domaine de l'automobile :.

Suite à ces travaux, la réalisation des expérimentations finales du dispositif Tictact dans sa globalité (bracelet vibrant et Viflex) se déroulera dans un environnement combinant le déplacement piéton en ville et dans les transports en commun, lors d'un trajet scénario identique à tous les participants.

VI. PARTIE EMPIRIQUE n°3. Evaluation des fonctions haptiques du dispositif d'aide au déplacement piéton urbain

1. Contexte et objectifs

L'étude présentée dans ce chapitre a été menée afin de répondre à notre troisième et dernière question de recherche : quel est l'apport de la modalité haptique pour le soutien de l'activité de déplacement du piéton urbain ? Cette étude, basée sur une analyse de l'activité de déplacement en environnement réel à partir d'un scénario de déplacement permet de comparer deux groupes de participants, l'un se déplaçant avec le prototype haptique d'aide au déplacement associé au smartphone, l'autre uniquement avec le smartphone. Le second groupe représente le groupe contrôle.

Les trois objectifs de l'étude et leurs hypothèses associées sont décrits ci-dessous, avant d'être développés dans les sections suivantes.

Objectif 1 - Evaluer l'incidence du prototype haptique sur la performance de réalisation du trajet

Cet objectif vise à évaluer si le dispositif haptique améliore – ou freine - la réalisation du trajet. Par « réalisation du trajet», on fait référence à des indicateurs tels que : la rapidité d'exécution de l'itinéraire, le temps passé à rechercher des informations nécessaires pour construire l'itinéraire, les possibles erreurs d'orientation, les éventuelles ruptures du rythme de marche et les échecs dans la recherche d'information.

L'évaluation que nous faisons ici se base sur les critères de performance que nous avons identifiés et quantifiés dans la partie empirique n°1. Les performances obtenues par les piétons dans cette étude n°1 qui nous servira de situation de référence.

Ces questions seront opérationnalisées au travers des hypothèses suivantes :

Hypothèse 1.1 : L'utilisation du prototype haptique comme aide au déplacement devrait permettre de diminuer la durée du trajet.

Hypothèse 1.2 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer la durée et le nombre d'interactions avec les supports d'information pendant le trajet.

Hypothèse 1.3 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'erreurs pendant le trajet.

Hypothèse 1.4 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de réduire la durée de déplacement à l'allure dégradée.

Hypothèse 1.5 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'interactions dont l'issue est négative.

Objectif 2 - Evaluer l'incidence du prototype haptique sur la performance des activités cognitives mobilisées durant l'activité de déplacement

Cet objectif vise à évaluer dans quelle mesure le dispositif haptique va soutenir les processus cognitifs qui sont impliqués dans l'élaboration et la réalisation du déplacement. L'étude rapportée en partie empirique n°1 nous a permis d'identifier précisément un certain nombre d'« Activités Cognitives Elémentaires » (ACE) qui se sont avérées cruciales pour construire l'activité de déplacement : prendre une décision d'orientation, vérifier sa route, contrôler le déroulement temporel, planifier, etc. Nous nous attendons à ce que le dispositif haptique soutienne et assiste ces activités, les rendre plus fluides, plus efficaces et plus faciles à mener. Cette assistance doit se traduire par de meilleures performances, mesurées avec les critères cités précédemment (durée consacrée à la recherche d'information, rupture du rythme de marche, etc.). C'est donc à l'aide de ces critères que nous inférerons l'impact du prototype haptique sur la performance des activités cognitives mobilisées durant l'activité de déplacement.

Cet objectif est opérationnalisé avec les hypothèses suivantes :

Hypothèse 2.1 : Pour chacune des ACE soutenue par une fonction haptique du système, l'utilisation du prototype devrait permettre de diminuer la *durée* d'interactions avec les supports d'informations pendant le trajet.

Hypothèse 2.2 : Pour chaque ACE soutenue par une fonction haptique du système, l'utilisation du haptique devrait permettre de diminuer le *nombre* d'interactions avec les supports d'information pendant le trajet.

Hypothèse 2.3: Pour chaque ACE soutenue par une fonction haptique du système, l'utilisation du prototype devrait permettre de réduire la durée de déplacement à l'allure dégradée.

Hypothèse 2.4: L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'interactions relatif à chacune des ACE soutenue par une fonction haptique du système dont l'issue est négative.

Objectif 3 - Etudier l'adéquation des fonctions haptiques du dispositif [GUIDER, RASSURER, ALERTER, SIGNALER] à la réalisation des différentes Activités Cognitives Elémentaires

Ce dernier objectif est consacré à l'évaluation du prototype lui-même et à la compatibilité de ses principes fonctionnels et interactionnels avec les besoins du piéton durant son déplacement. Nous examinerons si les modes d'interaction proposés par le prototype sont bien compris par l'utilisateur et s'ils sont bien efficacement reliés à l'activité cognitive élémentaire qui est supposée être assistée. Cet objectif est donc centré sur l'évaluation de l'intérêt et de l'efficience de la modalité haptique, comme modalité d'interaction.

Cet objectif ne nécessite donc pas de comparaison inter-groupe et les analyses descriptives seront faites uniquement sur le groupe PROTOTYPE.

2. Méthodologie

Pour répondre aux objectifs énoncés précédemment, nous avons mis en place une méthodologie d'analyse permettant d'une part d'étudier l'activité de déplacement médiatisée avec le prototype haptique mais également de pouvoir comparer l'activité de deux groupes de participants, l'un utilisant le prototype haptique et un smartphone, l'autre n'utilisant qu'un smartphone. Les participants ont réalisé un déplacement sur la base d'un trajet-scénario dans la ville de Paris. La méthodologie mise en place se base sur celle de l'étude de l'activité de déplacement présentée dans la partie empirique n°1.

2.1. Participants

Pour cette étude, 24 personnes âgées de 16 à 60 ans (M=29,6 ans) dont 12 femmes et 12 hommes, ont été sélectionnées grâce au même questionnaire en ligne que dans la partie empirique n°1 (cf. Annexe). Ce questionnaire permettait d'obtenir des informations sur les participants, leurs pratiques de déplacement, d'évaluer leur niveau de connaissance du réseau de transport en commun ainsi que celui du trajet déterminé par le scénario.

Afin de constituer nos deux groupes expérimentaux, nous avons sélectionné les participants en fonction de trois critères d'inclusion : ***l'usage quotidien d'un smartphone***, ***le profil usager*** (niveau d'expertise réseau et trajet) et le ***niveau d'expertise en interaction haptique***.

Usage quotidien d'un smartphone.— Nous avons sélectionné uniquement des participants utilisateurs de smartphone au quotidien. Il était important que chaque participant soit déjà familier avec l'utilisation d'un smartphone, car que ce soit pour le groupe expérimental avec ou sans dispositif haptique, le smartphone est imposé comme outil d'aide. L'apprentissage du smartphone ne devait pas être un biais pour l'expérimentation.

Profil usager.— *N*ous avons ciblé le profil usager occasionnel du réseau de transport en commun parisien. Un usager occasionnel emprunte les transports en commun au maximum une fois par semaine. Par ailleurs, les participants sélectionnés ne connaissent pas ou très peu le trajet correspondant au scénario proposé dans l'expérimentation (cf. scénario).

Niveau d'expertise en interaction haptique.— *T*ous les participants sont novices dans les interactions haptiques et/ou vibratoires. Aucun d'eux ne travaille sur cette thématique et aucun n'a déjà pris part à l'une des expérimentations précédentes de la démarche de conception.

Suite à cette sélection à partir du questionnaire en ligne, chaque participant a été affecté de façon aléatoire dans un des deux groupes suivants : avec prototype haptique (groupe PROTOTYPE), sans prototype (groupe SANS PROTOTYPE). Le groupe PROTOTYPE comptait 12 participants, dont 6 femmes et 6 hommes (M = 31,0 ans ; SD = 11,2 ans) ; le groupe SANS PROTOTYPE comprenait 12 participants, composés de 6 femmes et 6 hommes (M = 27,7 ans ; SD = 10,1 ans).

2.2. Description des dispositifs utilisés

Contrairement à la partie empirique n°1, les outils d'aide à disposition des participants pour la réalisation de l'activité de déplacement sont contrôlés. Toutes les informations fournies aux participants des deux groupes étaient les mêmes. Le fait de pouvoir contrôler les informations données pour la préparation du trajet a permis que tous les participants réalisent le scénario en empruntant le même itinéraire et les mêmes moyens de transport de façon que les trajets réalisés soient comparables.

La différence portait uniquement sur la modalité sensorielle utilisée pour présenter les informations correspondant aux fonctions de l'outil d'aide :

- Le groupe PROTOTYPE dispose d'un smartphone et du prototype haptique fonctionnel issu du projet de conception Tictact. Ce prototype est constitué d'un bracelet vibrant et d'un viflex (voir Figure 52). Sur le smartphone, le participant a uniquement accès à l'application d'aide au déplacement développée au cours du projet. Le prototype est relié par Bluetooth à l'application smartphone. Cette dernière envoie les informations de commande du prototype haptique. Ce dernier est ainsi l'extension de l'application smartphone, tous deux ne formant qu'un seul et même outil. L'application smartphone fournit des informations visuelles et le prototype des informations haptiques à l'utilisateur.
- Le groupe SANS PROTOTYPE dispose uniquement d'un smartphone sur lequel il a accès à la même application d'aide au déplacement que le groupe PROTOTYPE. Toutes les informations sont données au format visuel.

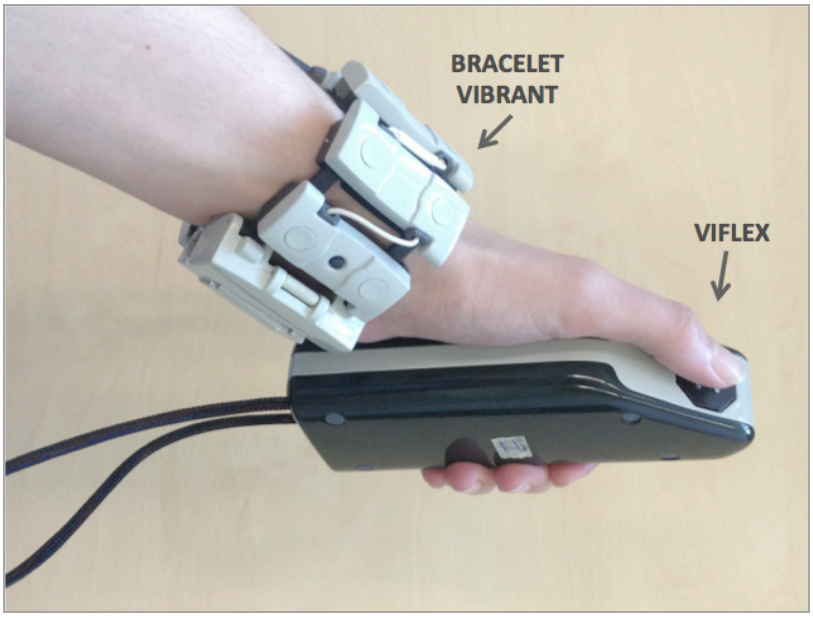


Figure 52. Prise de vue du prototype haptique utilisé par le groupe PROTOTYPE pendant l'étude.

2.2.1. Fonctions d'aide

Les différentes fonctions du dispositif sont en adéquation avec le cahier des charges fonctionnelles établies à l'issue de la partie empirique n°1. Nous allons à présent détailler ces différentes fonctions en précisant pour chacune d'elles, le support de l'information (application smartphone ou prototype), la nature de l'information et enfin la modalité sensorielle utilisée pour transmettre l'information à chacun des deux groupes (Cf. récapitulatif dans le Tableau 24, ci-dessous).

2.2.1.a) Fonction PLANIFIER

Les informations de planification sont données par l'application au format visuel pour les deux groupes expérimentaux. L'application présente un menu d'accueil à partir duquel les participants entraient l'adresse à laquelle ils devaient se rendre. Une fois la destination entrée, l'application affichait la feuille de route à suivre. Les feuilles de route étaient établies grâce aux résultats de la partie empirique n°1 sur la phase de préparation d'itinéraire, tout en conservant une forme analogue à celles que l'on peut trouver sur les sites internet et applications existants d'aide à la planification (RATP, Via Navigo), (Cf. Annexe 12).

2.2.1.b) Fonction GUIDER

Les informations de guidage qui permettent aux participants de prendre des décisions d'orientation, sont données de façon différente selon le groupe expérimental.

- le groupe PROTOTYPE était guidé uniquement grâce à des informations haptique fournies par le viflex. (Cf. IV. PARTIE EMPIRIQUE n°2, section 2.2.3.f). Les informations données par le viflex étaient programmées de sorte que la plateforme basculante indique la direction à suivre, dix mètres avant chaque point de réorientation. Le guidage par le viflex fonctionnait aussi bien pour la navigation en zone ouverte (environnement extérieur), qu'en zone d'accès et de transfert (environnement souterrain).
- le groupe SANS PROTOTYPE était guidé en zone ouverte (environnement extérieur), grâce à des informations visuelles fournies par l'application smartphone. L'application proposait un guidage GPS piéton (informations de guidage égo-centrées basées sur une carte du quartier), de façon à ce que les informations soient comparables avec celles fournies par le viflex. Le participant consultait l'application quand il le désirait. En zone d'accès et de transfert (environnement souterrain), le participant utilisait les ressources informationnelles disponibles dans l'environnement pour s'orienter (panneaux du réseau RATP).

2.2.1.c) Fonction RASSURER

Cette fonction consiste à pouvoir demander au dispositif quand l'utilisateur en ressent le besoin, s'il se trouve toujours bien sur la bonne route. Le dispositif envoie alors en retour à l'utilisateur le message suivant :

Message 1 : Bonne route – *ça roule*

- Pour le groupe PROTOTYPE, les participants pouvaient appuyer sur un bouton situé sur le bracelet (au niveau du dessus du poignet). Le dispositif envoyait alors le motif vibratoire correspondant au message « vous êtes sur la bonne route ».
- Pour le groupe SANS PROTOTYPE, la fonction RASSURER n'existait pas.

2.2.1.d) Fonctions ALERTER et SIGNALER

Ces deux fonctions permettent à l'utilisateur d'être informé des messages suivants :

Pour cette étude les motifs vibratoires correspondant aux différents messages sont imposés afin de pouvoir être comparés entre les participants. La métaphore choisie pour chaque message est donnée ci-dessous ainsi que dans le Tableau 24.

Message 2 : mauvaise direction – *demi-tour*
Message 3 : montée-descente de son véhicule de transport en commun – *toc-toc*
Message 4 : Incident sur le parcours - *sirène*
Message 5 : indisponibilité d'un équipement réseau - *bug*
Message 6 : point d'intérêt – *cœur qui bat*
Message 7 : information culturelle - *valse*

- le groupe PROTOTYPE, recevait les alertes pour ces différents sous forme de motif vibratoire avec le bracelet vibrant. Les participants avaient ensuite à disposition des informations visuelles complémentaires qui apparaissaient sur l'application smartphone Tictact pour les messages 4, 5, 6 et 7 (détails sur la nature de l'incident ou de l'indisponibilité de l'équipement, le point d'intérêt et l'information culturelle).
- le groupe SANS PROTOTYPE, était alerté par un son de la présence d'une information sur le smartphone. L'information de chacun des messages était alors donnée de façon visuelle avec l'application.

2.2.1.e) Consultation du smartphone

Le smartphone était fourni par l'expérimentateur de façon à ce que tous les participants utilisent le même appareil. Il était demandé aux sujets du groupe PROTOTYPE qu'ils gardent en permanence le smartphone dans leur poche sauf pour PLANIFIER un itinéraire et obtenir les compléments d'informations des fonctions ALERTER et SIGNALER après avoir reçu la métaphore vibratoire.

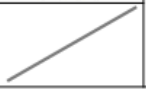
Fonctions	Messages	Motifs vib.	Outils d'aide Groupe avec HPT	Outils d'aide Groupe Sans HPT
GUIDER	0 Donne la direction dans laquelle le participant doit se diriger		Viflex	Guidage GPS
RASSURER	1 Rassure l'utilisateur en lui disant qu'il se trouve sur la bonne route		Bracelet	
ALERTER	2 Alerte l'utilisateur qu'il emprunte la mauvaise direction			Application Tictact sur smartphone
	3 Alerte de la montée ou de la descente du véhicule			
	4 Alerte d'un incident/accident sur l'itinéraire prévu entrainant une re-planification		Bracelet & Application Tictact sur smartphone	
	5 Alerte de l'indisponibilité d'un équipement du réseau			
SIGNALER	6 Informe des points d'intérêts définis par l'utilisateur			
	7 Donne des informations culturelles et ludiques tout au long du trajet			
(RE) PLANNIFIER	Donne la feuille de route à partir de son point actuel permettant de connaître l'itinéraire à suivre			

Tableau 24. Récapitulatif des outils d'aide à disposition de chacun des deux groupes expérimentaux pour réaliser le scénario de déplacement.

2.3. Scénario de déplacement

Afin d'étudier et comparer l'activité de déplacement piéton urbain en environnement réel avec et sans prototype haptique, nous avons élaboré un trajet-scénario dans la ville de Paris. Le scénario a été défini en se basant sur les données de la partie empirique n°1. Pour des raisons techniques relatives au projet, nous ne pouvions pas reprendre le scénario initial (Cf. Partie empirique n°1).

Le scénario durait environ quarante-cinq minutes, et comprenait trois destinations, correspondant à trois motifs de déplacement que nous allons détailler ci-dessous. Ces destinations étaient des prétextes permettant d'intégrer au scénario différentes situations de l'activité de déplacement nous intéressant plus particulièrement, tels que les déplacements avec différentes modalités de transport (RER, marche à pied et bus) ou encore les déplacements dans les différentes zones de l'activité (Uzan, 2013), en particulier dans les stations complexes (pôle d'échange). Le scénario nous permettait également d'évaluer les différentes fonctions du dispositif. Voici le déroulement du scénario :

- **Motif déplacement n°1 : se rendre au 2 rue des Mathurins pour prendre un café avec un ami dont c'est l'anniversaire aujourd'hui. Sur votre route vous voudrez vous arrêter dans un magasin de spécialités locales pour lui trouver un cadeau.**

Chaque participant commençait le scénario à Châtelet et devait emprunter le RER A (MESSAGE m.3, joué à la montée et à la descente du RER), entre la station Châtelet-les Halles et la station Auber pour se rendre au café. Dans le RER, une information culturelle était envoyée au participant lui signalant la présence du «Louvre » au dessus de sa tête, en extérieur (MESSAGE m.7). Une fois arrivé à Auber, le dispositif d'aide signalait la présence d'un magasin de spécialités locales (MESSAGE m.6) se trouvant dans la station. Le participant devait s'y rendre avant de sortir de la station pour rejoindre l'adresse du rendez-vous.

- **Motif déplacement n°2 : déposer un courrier dans la boîte aux lettres de Josette Lafond au 94 rue de Provence.**

L'adresse de destination se trouvait à 250 mètres de sa localisation actuelle. Le participant devait alors s'y rendre à pied. Sur la route il passait devant un autre magasin de spécialités locales (MESSAGE m.6).

- **Motif déplacement n°3 : se rendre au musée du Louvre pour aller visiter la dernière exposition temporaire.**

Une fois la lettre fictive déposée, le participant devait aller au musée du Louvre. La nouvelle feuille de route correspondant à cette partie du scénario lui proposait de s'y rendre en empruntant le métro. Le participant était, comme dans la partie empirique n°1, confronté à une perturbation inattendue nécessitant une replanification de son itinéraire (MESSAGE m.4). Le participant devait alors poursuivre son déplacement en surmontant cet incident imprévu et rejoindre impérativement sa destination en empruntant un trajet de substitution. La fonction PLANIFIER devait permettre à l'utilisateur de trouver un itinéraire de substitution : prendre le bus à Opéra. A cet arrêt de bus, quatre lignes passent mais seulement deux desservent la destination (MESSAGE m.3 à la montée et à la descente du bus). Dans le bus le participant reçoit une information culturelle, lui signalant la présence à proximité du « Jardin des Tuileries » (MESSAGE m.7). Pour finir, sur le chemin entre l'arrêt de bus et la destination finale, il est signalé au participant la présence à proximité de « la Comédie Française » (MESSAGE m.7).

Le contexte dans lequel se déroule le scénario ainsi que l'état d'esprit que doit adopter le participant lui est précisé : il n'a pas de contrainte temporelle et il souhaite en profiter pour explorer un quartier qu'il ne connait pas.

Les différents types de messages adressés aux participants, ainsi que leur nombre sont sur le tableau ci-dessous :

Message	Moment de l'envoi du message	Nb fois
m.1	A la demande de l'utilisateur	indéfini
m.2	Déclenché par l'expérimentateur quand le participant se trompe de route	indéfini
m.3	- à la montée et descente du RER - à la montée et descente du bus	4
m.4	- au moment de l'incident	1
m.5	- présenté lors de l'apprentissage mais non utilisé dans le scénario	0
m.6	- à proximité d'un magasin de spécialités locales	2
m.7	- à proximité d'une points d'intérêt culturel	4

Tableau 25. Récapitulatif des messages envoyés aux participants pendant la réalisation du scénario.

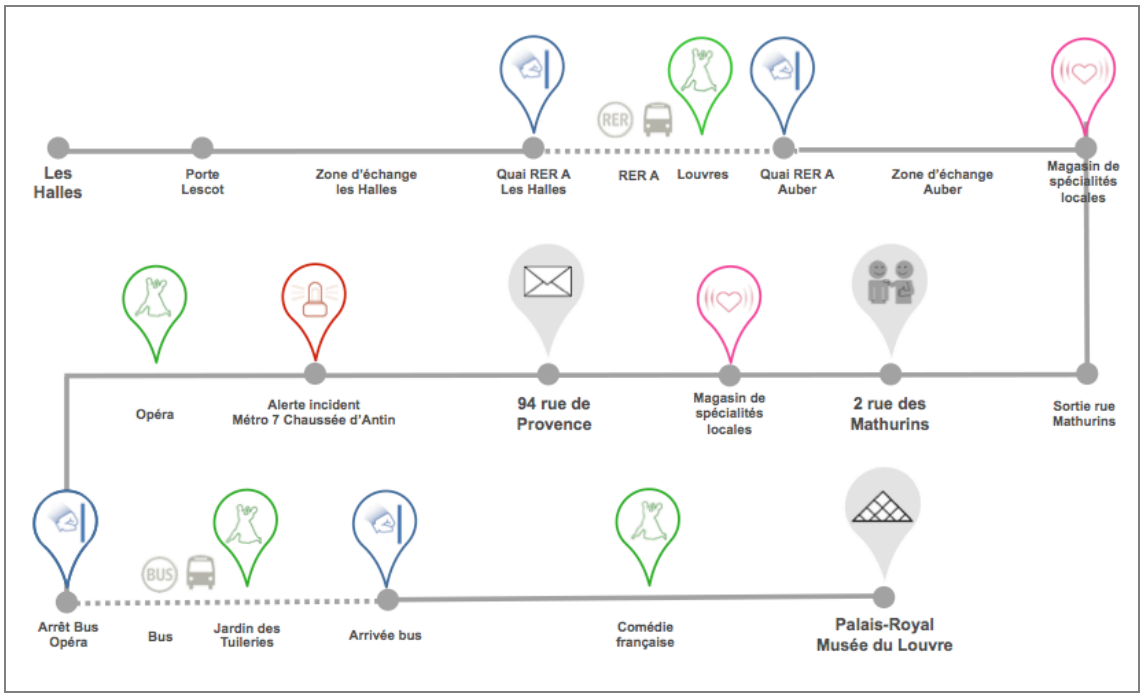


Figure 53. Parcours réalisé par les participants avec la localisation des messages envoyés au cours du trajet. Durant ce parcours 11 motifs vibratoires sont envoyés aux participants à l'aide du bracelet (bulle verte = information culturelle, bulle rose = point d'intérêt, bulle bleue foncée = montée-descente de son véhicule, bulle rouge = incident).

2.4. Méthodes de recueil de données

L'étude s'est déroulée en quatre étapes : (1) apprentissage des outils d'aide au déplacement, (2) réalisation du scénario de déplacement, (3) entretien semi-directif, (4) questionnaire d'évaluation.

2.4.1. Apprentissage avec les outils d'aide

Dans un premier temps (une dizaine de minutes), l'expérimentateur présentait les objectifs de l'étude aux participants ainsi que le scénario de déplacement. Dans un second temps (une quinzaine de minutes), l'expérimentateur présentait les outils d'aide sur lesquels l'utilisateur allait devoir s'appuyer pour réaliser son trajet en définissant les différentes fonctions d'aide ainsi que les supports informationnels associés (Cf. tableau ci-dessus). La présentation des outils variait en fonction du groupe expérimental auquel appartenait le participant. Les participants des deux groupes, bien que tous utilisateurs de smartphone, ont eu quelques minutes pour se familiariser avec le smartphone utilisé pour l'expérimentation dont le fonctionnement pouvait différer quelque peu de leur propre téléphone. Le fonctionnement de l'application Tictact a également été présenté.

2.4.1.a) Apprentissage pour le groupe PROTOTYPE

Pour le groupe PROTOTYPE, les différentes fonctions haptiques, les messages associés ainsi que le fonctionnement complémentaire entre le prototype et l'application Tictact sur le smartphone étaient présentés (cf. Tableau 24). Durant cette étape le participant portait le prototype (bracelet et viflex) afin de pouvoir se familiariser avec les différentes interactions de ce dernier. Pour chaque message d'information, l'expérimentateur montrait la métaphore sous forme d'icône visuelle et la correspondance haptique sous forme de motif vibratoire en la jouant au participant à l'aide du prototype. Chaque participant pouvait demander à jouer chacune des icônes vibratoires plusieurs fois. A la fin des quinze minutes d'apprentissage, le participant subissait un test afin de valider que les motifs vibratoires étaient reconnus et que la correspondance avec le message d'information était mémorisée. Pour vérifier cela, l'expérimentateur jouait dans un ordre aléatoire les différentes icônes, le participant devant alors donner la métaphore ainsi que sa signification en termes de message fonctionnel pour le déplacement.

2.4.1.b) Apprentissage pour le groupe SANS PROTOTYPE

Pour le groupe SANS PROTOTYPE, les différentes fonctions et messages d'information étaient présentés ainsi que leurs correspondances en terme d'icônes visuelles. L'expérimentateur familiarisait ensuite chacun des participants au signal auditif permettant de l'informer de la présence d'une nouvelle information sur son smartphone. Enfin l'expérimentateur validait avec le participant qu'il maîtrisait l'utilisation de l'application Google Maps en mode « navigation ».

2.4.2. Réalisation du scénario de déplacement

La seconde étape, d'une durée d'environ quarante-cinq minutes, reposait sur l'observation de la réalisation du scénario de déplacement pour chacun des deux groupes expérimentaux. L'expérimentateur se mettait en retrait et laissait le participant mener à bien son déplacement. Durant toute la réalisation du scénario, l'expérimentateur se plaçait à 1 à 2 mètres derrière le participant afin de pouvoir l'observer sans entraver son activité, pouvoir répondre à ses différentes requêtes mais également pour pouvoir envoyer au smartphone les consignes nécessaires pour simuler l'application d'aide. Pour les deux groupes, si le participant ne comprenait pas le message 2 (faire demi-tour), l'expérimentateur arrêtait le participant et le replaçait dans la bonne direction.

Pour le groupe PROTOTYPE, il était demandé à chaque participant de verbaliser la métaphore ou bien le message associé dès qu'un motif vibratoire était perçu. Cela permettait d'une part de savoir si le motif vibratoire avait été ressenti mais également compris. Le participant pouvait à tout moment du trajet demander la répétition d'un motif vibratoire. Lorsque le participant se trompait de route, l'expérimentateur envoyait le motif vibratoire « demi-tour ».

Le trajet réalisé par les participants a été enregistré grâce à des lunettes caméra portée par le participant. Cela nous a permis d'enregistrer durant la totalité du trajet, les verbalisations, les actions, les comportements de chaque participant ainsi que les informations contextuelles, telles que les différentes étapes du trajet.

2.4.3. Entretien semi-directif

La troisième étape de l'étude était un entretien semi-directif. Cet entretien se découpait en deux phases distinctes.

La première phase de l'entretien permettait de compléter les observations faites lors de la réalisation du trajet scénario en levant les ambiguïtés de certaines situations relevées par l'expérimentateur. Cette phase de l'entretien était basée sur des traces de l'activité. Ces traces sont une vue schématisée du trajet (Cf. Figure 53) où apparaissent les grandes étapes du trajet et sur laquelle l'expérimentateur a noté différentes situations sur lesquelles il souhaite revenir avec le participant. Ces situations correspondaient à des moments précis du trajet pendant lesquels le participant avait semblé éprouver des difficultés (erreurs, ralentissement, sentiment d'être perdu, d'hésiter). L'expérimentateur revenait également sur chaque fonction d'aide afin d'obtenir des informations complémentaires sur la façon dont le participant s'est senti soutenu pendant la réalisation de son activité de déplacement.

Dans la seconde phase de l'entretien, l'expérimentateur invitait le participant à revenir sur une situation dans laquelle il s'était senti à l'aise lors du déplacement puis une situation qui lui avait semblé plus difficile. Cette technique de verbalisation se rapproche de celle des incidents critiques. Cette phase avait pour but d'obtenir des pistes d'améliorations pour le dispositif haptique futur, en identifiant les situations ressenties comme négatives et en s'appuyant sur les situations positives.

Les verbalisations issues des entretiens post-scénario ont été enregistrées à l'aide d'un dictaphone numérique. Les verbalisations ont été ensuite retranscrites de manière systématique.

2.5. Traitement des données

2.5.1. Analyse de l'activité de déplacement

2.5.1.a) Caractérisation de la consultation d'information

Les vidéos des 24 participants ainsi que les verbalisations recueillies ont été traitées en utilisant la même grille de codage que pour l'étude de l'activité de déplacement dans la partie empirique n°1 (IV. 3.2.5.b). La grille, constituée de quatre catégories, permet de caractériser la consultation d'information : les Activités Cognitives Elémentaires (données inférées) auxquelles la consultation d'information est liée, les zones du trajet dans lesquelles la consultation est réalisée, le support de l'information et la nature de l'information consultée. Les données sont codées grâce au logiciel Observer XT de Noldus. Ce logiciel a permis d'analyser les comportements des participants de manière précise et quantitative. Il nous a également permis d'enregistrer les informations temporelles puis de filtrer les données de manière pertinente pour notre étude.

2.5.1.b) Mesures dépendantes

Nous avons utilisé différents critères permettant de mesurer et comparer la performance de l'activité de déplacement réalisée avec les deux systèmes d'aide (smartphone et smartphone + prototype haptique). La plupart de ces critères ont été utilisés dans l'étude d'activité de déplacement dans la partie empirique n°1, ce qui va également permettre de lier les deux études. Les critères de performance de l'activité sont les suivants :

- le temps de déplacement

- la durée d'interaction[3] avec un support d'information

- le nombre d'interactions avec un support d'information

- l'allure du déplacement

- l'issue de l'ACE à laquelle la consultation est liée

- le nombre d'erreurs (nombre de fois où le message « mauvaise route » a été envoyé au participant)

Pour comparer les données correspondantes aux critères de performance de l'activité de déplacement des deux groupes expérimentaux, nous utilisons, comme dans la partie empirique n°1, le test non paramétrique de Mann-Whitney. Ce test statistique permet de comparer deux échantillons indépendants de petite taille.

2.5.1.c) Evaluation de l'interaction avec le prototype haptique

D'autres critères concernent plus spécifiquement la performance de l'interaction avec le prototype :

[3] Contrairement à la partie empirique n°1, dans cette étude on ne peut pas uniquement parler de « consultation d'information » car avec le dispositif haptique, certaines informations sont données à l'utilisateur de façon passive : l'utilisateur n'est pas en position de recherche d'information, il ne réalise pas l'action de consulter une information mais la reçoit.

- le taux de reconnaissance de chaque motif haptique (avec le viflex et avec le bracelet vibrant) : afin de calculer le taux de reconnaissance, nous avons spécifié la reconnaissance des messages par les participants selon que l'identification était : positive, positive hésitante (dans ce cas, il se déroulait plus de 5 secondes entre la fin du motif et la réponse du participant), positive avec répétition, négative non senti, négative avec erreur.

- le nombre de demandes de réassurance et leur contexte

2.5.2. Analyse des entretiens

Les entretiens, une fois retranscrits ont été analysés de façon thématique. A partir des verbalisations des participants sur leur activité de déplacement nous avons mis l'accent sur certains points qui nous intéressaient particulièrement : l'usage du système d'aide comme contrainte ou ressource pour l'activité et plus spécifiquement pour chacune des ACE, les situations dans lesquelles l'utilisateur s'est senti à l'aise et en difficulté et enfin les pistes d'améliorations.

2.5.3. Analyse des questionnaires

Les réponses des vingt participants du groupe PROTOTYPE ont été analysées de façon descriptive pour chacun des paramètres d'évaluation subjective.

3. Résultats

3.1. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur la performance de l'activité de déplacement

3.1.1. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur le temps de trajet

Hypothèse 1.1 : L'utilisation du prototype haptique comme aide au déplacement devrait permettre une diminution de la durée du trajet.

Le temps moyen de trajet est de 45 minutes et 44 secondes pour le groupe PROTOTYPE et de 47 minutes et 1 seconde pour le groupe SANS PROTOTYPE (voir Tableau 26). Ces temps ne présentent pas de différence significative. L'utilisation du prototype haptique n'entraine donc pas une diminution du temps de trajet global.

Nous avons également calculé le temps de trajet dans chacune des zones (voir Tableau 7) du déplacement afin de déterminer si l'utilisation du prototype haptique permettait de diminuer le temps de trajet moyen de l'une des zones (voir Tableau 26). Nous n'avons trouvé de différence significative entre les deux groupes pour aucune des zones. Concernant la variabilité du temps de trajet en fonction des zones, on constate que l'écart-type le plus important se trouve en zone de transfert pour les deux groupes. Ce résultat s'explique notamment par la variabilité des temps d'attente des différents véhicules de transport en commun.

		Z. Ouverte	Z. Accès	Z. Transfert	Z. Transportation	Total
Avec Prototype	**Moy**	**00:23:36**	**00:08:54**	**00:05:56**	**00:07:17**	**00:45:44**
	SD	00:02:25	00:01:05	00:03:10	00:00:56	00:05:13
Sans prototype	**Moy**	**00:25:22**	**00:08:21**	**00:05:50**	**00:07:27**	**00:47:01**
	SD	00:03:29	00:02:01	00:04:09	00:01:05	00:07:24

Tableau 26. Comparaison du temps de déplacement global et dans chaque zone pour les deux groupes expérimentaux (AVEC et SANS PROTOTYPE).

L'hypothèse 1.1 n'est donc pas validée : l'utilisation du prototype ne permet pas une diminution de la durée du trajet.

3.1.2. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur la durée et le nombre d'interaction avec un support d'information pendant le trajet

Hypothèse 1.2 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer la durée et le nombre d'interaction avec les supports d'information pendant le trajet.

Le Tableau 27 montre que le nombre moyen d'interactions est de 79,91 pour le groupe PROTOTYPE haptique et qu'il est de 69,33 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence n'est pas significative. L'utilisation du prototype n'entraine donc pas de diminution du nombre d'interactions avec un support d'information. La durée moyenne d'interaction est de 8 minutes et 38 secondes, pour le groupe PROTOTYPE, contre 14 minutes et 53 secondes pour le groupe SANS PROTOTYPE. La différence est significative (p=0,0002). L'utilisation du prototype permet ainsi de diminuer la durée moyenne d'interaction avec un support d'information.

		Nombre moyen d'interactions avec un support par personne	Temps moyen d'interaction avec un support par personne
Avec Prototype	**Moy**	**79,91**	**00:08:38**
	SD	6,82	00:02:16
Sans Prototype	**Moy**	**69,33**	**00:14:53**
	SD	16,10	00:03:56

Tableau 27. Comparaison du nombre et du temps moyen d'interaction pour les deux groupes expérimentaux (groupe PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE).

L'hypothèse 1.2 est donc partiellement validée car l'utilisation du dispositif haptique ne permet pas de diminuer le nombre moyen d'interactions avec un support d'information mais il permet d'en diminuer la durée moyenne.

3.1.3. Effet de l'utilisation du prototype sur le nombre d'erreurs lié au déplacement

Hypothèse 1.3 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'erreurs pendant le trajet.

Le nombre d'erreurs est comptabilisé à chaque fois que l'expérimentateur envoie un message «mauvaise route» au participant. Ce message était envoyé lorsque le participant commençait à emprunter une mauvaise direction sur son trajet.

Sur les 24 participants, 21 participants ont fait au moins une erreur et 3 participants ne se sont jamais trompés de route. Parmi les 12 participants AVEC PROTOTYPE, 10 se sont trompés de route au moins une fois. Le nombre moyen d'erreurs est de 2,5 (SD=1,7) et le nombre maximum d'erreurs par participant est de 5. Dans le groupe SANS PROTOTYPE 11 participants sur 12 se sont trompés au moins une fois. Le nombre moyen d'erreurs est de 2,8 (SD=1,8) et le nombre maximum d'erreurs par participant est de 6. La différence entre les deux groupes n'est pas significative.

L'hypothèse 1.3 : n'est pas validée car le prototype haptique ne permet pas de diminuer de façon significative le nombre moyen d'erreurs sur le trajet. Cependant on constate que le nombre moyen d'erreurs pour les deux groupes est faible.

3.1.4. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur l'allure globale de déplacement

Hypothèse 1.4 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de réduire la durée de déplacement à allure dégradée (marche hésitante, arrêt volontaire, marche perdition).

Afin de déterminer l'effet du prototype sur l'allure de déplacement, nous avons calculé le temps moyen de déplacement à chacune des allures sur l'ensemble du trajet pour chacun des deux groupes expérimentaux. Les données sont présentées dans la Figure 54.

La première observation porte sur les deux allures non dégradées : *la marche franche* et *l'arrêt attente*. La durée de déplacement en *marche franche* est plus importante pour le groupe PROTOTYPE

(24 minutes) que pour le groupe SANS PROTOTYPE (20 minutes et 3 secondes). La différence est significative (p=0,0006). L'utilisation du prototype haptique favorise la marche franche. Pour l'allure *arrêt attente*, il n'y a pas de différence significative.

La deuxième observation porte sur les allures de déplacement dégradées : *arrêt volontaire*, *marche hésitante* et *marche perdition*.

L'allure *arrêt volontaire* est observée pendant 3 min et 45 secondes dans le groupe PROTOTYPE et pendant 8 minutes et 8 secondes dans le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,001) L'allure *marche hésitante*, est observée pendant 45 secondes dans le groupe PROTOTYPE et pendant 3 minutes 45 secondes dans le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,00004).

Concernant l'allure *marche perdition*, il n'est pas observé de différence significative entre les deux groupes.

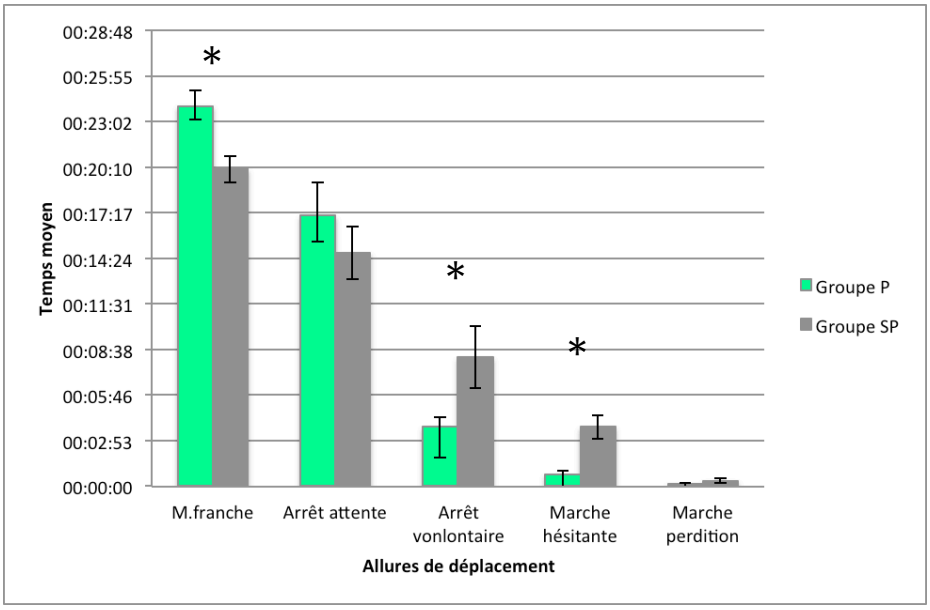


Figure 54. Comparaison des durées moyennes à chaque allure sur le trajet pour le groupe AVEC et SANS PROTOTYPE.

Allure de déplacement		Groupe PROTOTYPE	Groupe SANS PROTOTYPE	P
Marche franche	**Moy**	**00:24:00***	**00:20:03***	p=0,0006
	SD	00:01:59	00:01:40	
Arrêt attente	**Moy**	**00:17:05**	**00:14:44**	**NS**
	SD	00:04:13	00:03:19	
Arrêt volontaire	**Moy**	**00:03:45***	**00:08:08***	p=0,001
	SD	00:01:10	00:03:55	
Marche hésitante	**Moy**	**00:00:45***	**00:03:45***	p=0,00004
	SD	00:00:28	00:01:30	
Marche « perdition »	**Moy**	**00:00:09**	**00:00:21**	**NS**
	SD	00:00:08	00:00:20	

Tableau 28. Comparaison des durées moyennes à chacune des allures de déplacement pour le groupe AVEC et SANS PROTOTYPE.

L'hypothèse 1.4 est validée car l'utilisation du prototype permet de réduire le temps de déplacement à allures dégradées (*marche hésitante* et marche *perdition*). Les résultats montrent également très clairement que le groupe PROTOTYPE adopte une *marche franche* sur de plus longues durées que le groupe SANS PROTOTYPE.

Nous avons par ailleurs calculé, pour l'ensemble des interactions avec un support d'information, le pourcentage de durée moyenne à allure non dégradée (marche franche et arrêt attente) et allure

dégradée (arrêt volontaire, marche hésitante et marche perdition). Le groupe PROTOTYPE passe 96,59% de sa durée moyenne de déplacement à allure non dégradée alors que le groupe SANS PROTOTYPE passe 74,19% de son temps en allure non dégradée. Si l'on compare à présent, les pourcentages à celui calculé dans l'étude empirique n°1 (voir Tableau 12). On constate qu'aussi bien le groupe avec prototype que sans, ont un pourcentage de durée moyenne de déplacement à allure dégradée inférieur (61,2% non dégradée) à celui trouver dans lors de l'étude d'activité de référence (étude empirique n°1).

3.1.5. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur l'issue de l'interaction avec un support d'information

Hypothèse 1.5 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'interactions dont l'issue est négative.

Le nombre moyen d'interactions avec un support d'information entrainant une issue « *positive* » est de 71,17 pour le groupe PROTOTYPE contre 58,00 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,006).

Le nombre moyen d'interactions dont l'issue est « *positive avec hésitation* » est de 0,75 pour le groupe PROTOTYPE, contre 3,00 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est également significative (p=0,004).

Le nombre moyen d'interactions de la catégorie « *issue négative – info non trouvée ou perçue* » est de 0,42 pour le groupe PROTOTYPE et de 4,50 pour le groupe SANS PROTOTYPE. La différence est significative (p=0,0002).

Issue de l'interaction		**Nombre moyen d'interactions**		**P**
		G. sans prototype	**G. avec prototype**	
Positive	**Moy**	**58,00***	**71,17***	p=0,006
	SD	11,68	7,83	
Positive avec répétition	**Moy**		**3,92**	**NS**
	SD		3,09	
Positive hésitation	**Moy**	**3,00***	**0,75***	p=0,004
	SD	2,95	0,62	
Négative - info non trouvée-perçue	**Moy**	**4,50***	**0,42***	p=0,0002
	SD	3,12	0,67	
Négative – info inexistante	**Moy**	**0,50**	**0,17**	**NS**
	SD	0,52	0,39	
Négative – erreur participant	**Moy**	**1,33**	**1,83**	**NS**
	SD	1,15	1,27	

Tableau 29. Nombre moyen d'interactions avec un support d'information ayant entrainé une Effet du prototype haptique sur la performance de chacune des ACE pendant l'activité de déplacement

L'hypothèse 1.5 l'utilisation du prototype haptique permet d'une part de diminuer le nombre d'interaction dont l'issue est « *négative* » mais également de réduire le nombre d'interaction dont l'issue est *positive* mais *hésitante*. Enfin le prototype permet d'augmenter le nombre d'interaction dont l'issue est *positive*.

Si l'on calcule à présent le pourcentage d'interaction dont l'issue est positive (positive + positive avec répétition + positive hésitation), on obtient que 96,9% des interactions avec un support d'information est positive pour le groupe PROTOTYPE et 90,6% pour le groupe SANS PROTOTYPE. Ainsi que ce soit pour l'un ou l'autre des deux groupes, nous obtenons un taux faible d'interactions avec un support d'information dont l'issue est négative. Si l'on compare maintenant aux données de la partie empirique n°1, on peut voir que le pourcentage d'interaction dont l'issue est positive est amélioré car lors de l'étude d'activité de référence on a obtenu 87,8% d'issue positive.

3.2. Effet de l'utilisation du prototype haptique sur la performance de chacune des Activités Cognitives Elémentaires

Dans cette section, nous nous intéressons d'une part aux ACE liées à une fonction du système dont la modalité d'interaction est l'haptique : *prendre une décision d'orientation en extérieur et en souterrain*, *vérifier-confirmer*, *contrôler le déroulement temporel* et *intégrer une nouvelle information inattendue.* D'autre part, nous nous intéressons à l'ACE *(re)planifier*, qui est la seule activité liée à une fonction dont l'interaction est uniquement visuelle.

3.2.1. Effet du prototype sur la mise en œuvre des ACE mobilisées au court du déplacement piéton

Hypothèse 2.1 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer la durée d'interaction avec les supports d'informations pendant le trajet pour chaque ACE soutenue par une fonction haptique du système.

Pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur la durée moyenne* d'interaction avec un support d'information est moins importante pour le groupe PROTOTYPE (2 minutes et 14 secondes) que pour le groupe SANS PROTOTYPE (5 minutes et 54 secondes). Cette différence est significative (p=0,00004). Pour les ACE *prendre une décision d'orientation en souterrain*, *vérifier-confirmer*, *contrôler le déroulement temporel* et *intégrer une nouvelle information inattendue*, nous n'observons pas de différences significatives entre les deux groupes expérimentaux.

En ce qui concerne l'ACE *replanifier*, on observe que la durée d'interaction avec un support d'information pour le groupe PROTOTYPE est de 39 secondes, ce qui est significativement (p=0,005) plus court que pour le groupe SANS PROTOTYPE dont la durée est de 2 minutes et 2 secondes.

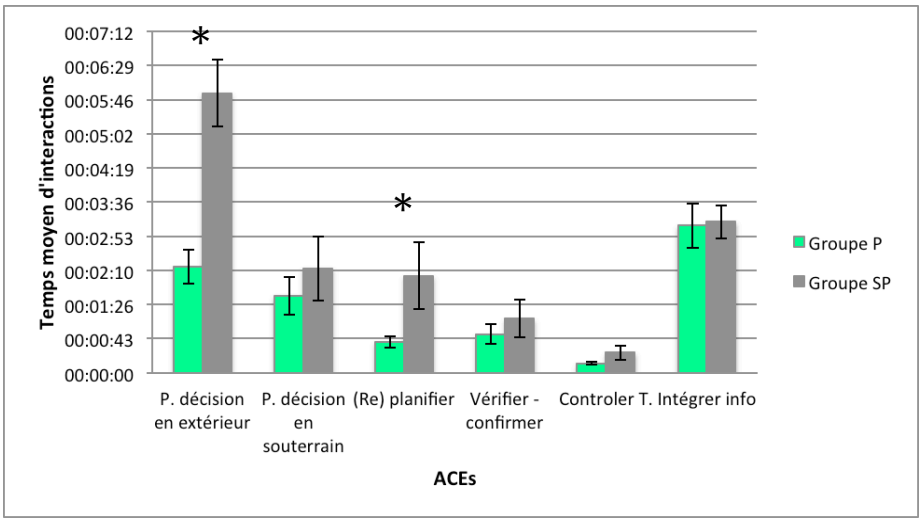


Figure 55. Comparaison de la durée d'interaction avec un support d'interaction relatif à chacune des ACE entre les deux groupes expérimentaux.

ACE	Temps consultations	
	Groupe PROTOTYPE	Groupe SANS PROTOTYPE
Prise décision extérieur	00:02:14 *	00:05:54 *
Prise décision souterrain	00:01:38	00:02:12
Confirmer - vérifier	00:00:49	00:01:08
(Re) planifier	00:00:39 *	00:02:02*
Contrôler Temps	00:00:12	00:00:26
Intégrer information	00:00:32	00:03:11
Activité annexes	00:02:34	00:02:40
TOTAL	**00:08:38 (SD = 00:02:16)**	**00:14:53 (SD = 00:03:56)**

Tableau 30. Comparaison de la durée moyenne d'interaction avec un support d'information nécessaire pour chacune des ACE entre les groupes PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE.

L'hypothèse 2.1 est validée partiellement, en effet l'utilisation du prototype permet de diminuer le nombre d'interaction avec un support d'information pendant la totalité du trajet uniquement pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur*. L'utilisation du prototype permet également de diminuer le nombre d'interaction avec un support d'information relatives à l'ACE *(re)planifier*.

3.2.2. Effet du prototype haptique sur le nombre d'interactions avec un support d'information pour chacune des ACE

Hypothèse 2.2 : L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'interactions avec les supports d'information pendant le trajet pour chaque ACE soutenue par une fonction haptique du système.

Il existe des différences significatives uniquement pour les deux ACE suivantes pour lesquelles le nombre moyen d'interactions est plus élevé dans le groupe PROTOTYPE :

Pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur*, le nombre moyen d'interactions avec un support d'information nécessaire pour réaliser l'activité est de 33,92 pour le groupe PROTOTYPE et de 30,00 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,04). Pour l'ACE *intégrer une nouvelle information*, le nombre moyen d'interactions nécessaires est de 7,42 pour le groupe PROTOTYPE alors qu'il n'est que de 6,83 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,017).

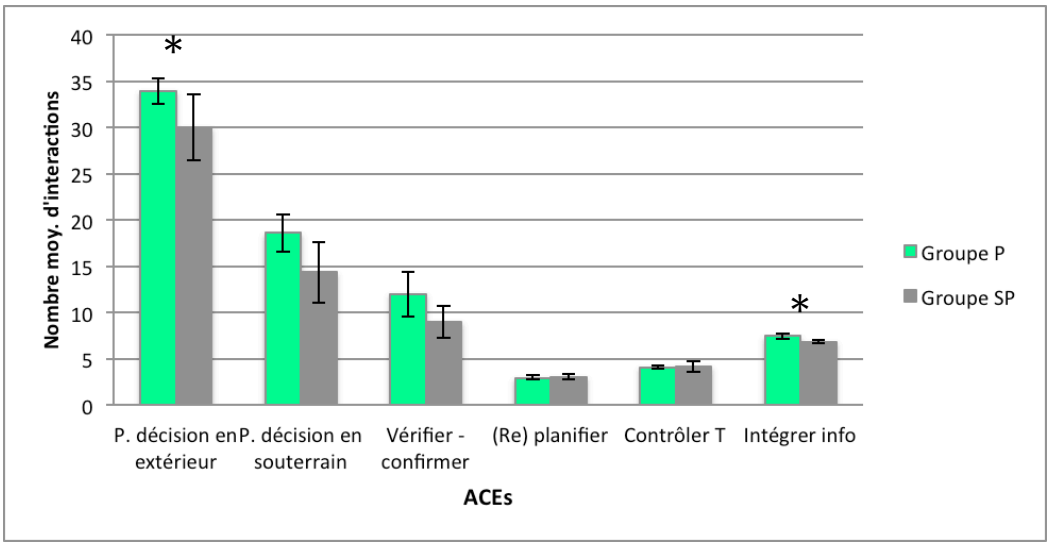


Figure 56. Comparaison du nombre moyen de consultations d'un support d'information nécessaire pour la réalisation de chacune des ACE mises en œuvre pendant le déplacement entre le groupe PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE.

ACE	Nombre de consultations Groupe PROTOTYPE	Nombre de consultations Groupe SANS PROTOTYPE	p
Prise décision en extérieur	**33,92**	**30,00**	**P=0,04**
Prise décision en souterrain	18,58	14,33	NS
Vérifier - confirmer	12,00	9,00	NS
(Re) planifier	2,92	3,00	NS
Contrôler T	4,08	4,17	NS
Intégrer une information	**7,42**	**6,83**	**P=0,017**

Tableau 31. Comparaison du nombre moyen de consultations nécessaire à la réalisation de chacune des ACE entre le groupe PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE.

L'hypothèse 2.2 est validée partiellement, en effet l'utilisation du prototype permet de diminuer le nombre d'interaction avec un support d'information pendant la totalité du trajet uniquement pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur*. L'utilisation du prototype permet également de diminuer le nombre d'interaction avec un support d'information relatives à l'ACE *(re)planifier*.

3.2.3. Effet du prototype haptique sur l'allure de déplacement lors de la réalisation de chacune des ACE

Hypothèse 2.3: ***L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de réduire le temps de déplacement à l'allure dégradée pour chaque ACE soutenue par une fonction haptique du système.***

Les durées moyennes passées en allure dégradée pour les différentes ACE sont les suivants :

. Pour l'ACE *prendre une décision en extérieur* : 38 secondes pour le groupe PROTOTYPE contre 5 minutes et 4 secondes pour le groupe SANS PROTOTYPE. La différence est significative (p=0,00004).

. Pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en souterrain*, 49 secondes pour le groupe PROTOTYPE contre 2 minutes et 15 secondes pour le groupe SANS PROTOTYPE. La différence est significative (p=0,00004).

. Pour l'ACE *vérifier-confirmer,* 8 secondes pour le groupe PROTOTYPE contre 33 secondes pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,029).

. Pour l'ACE *(re)planifier* 39 secondes pour le groupe PROTOTYPE contre 1 minute et 58 secondes pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,005).

. Pour l'ACE *intégrer une information inattendue,* 2 minutes 13 secondes pour le groupe PROTOTYPE et de 2 minutes et 10 secondes pour le groupe SANS PROTOTYPE. Il n'y a pas de différence significative. Dans ce cas les temps en allure dégradée sont dus à l'arrêt volontaire, moment où le participant s'arrête de façon délibérée pour consulter le smartphone suite à un message d'alerte vibratoire pour le groupe PROTOTYPE ou un signal sonore pour le groupe SANS PROTOTYPE.

. Pour l'ACE, *contrôler le déroulement temporel*, la comparaison est sans objet. En effet, cette ACE est mise en œuvre soit sur le quai au moment de l'attente soit dans son véhicule. Dans les deux cas, la personne est en arrêt obligatoire, ce qui ne peut pas être considéré comme une allure dégradée.

L'hypothèse 2.3 est validée car l'utilisation du prototype permet de réduire très significativement la durée de déplacement à allure dégradée pour toutes les ACE pouvant être impactées. Le prototype permet donc de donner des informations utiles et

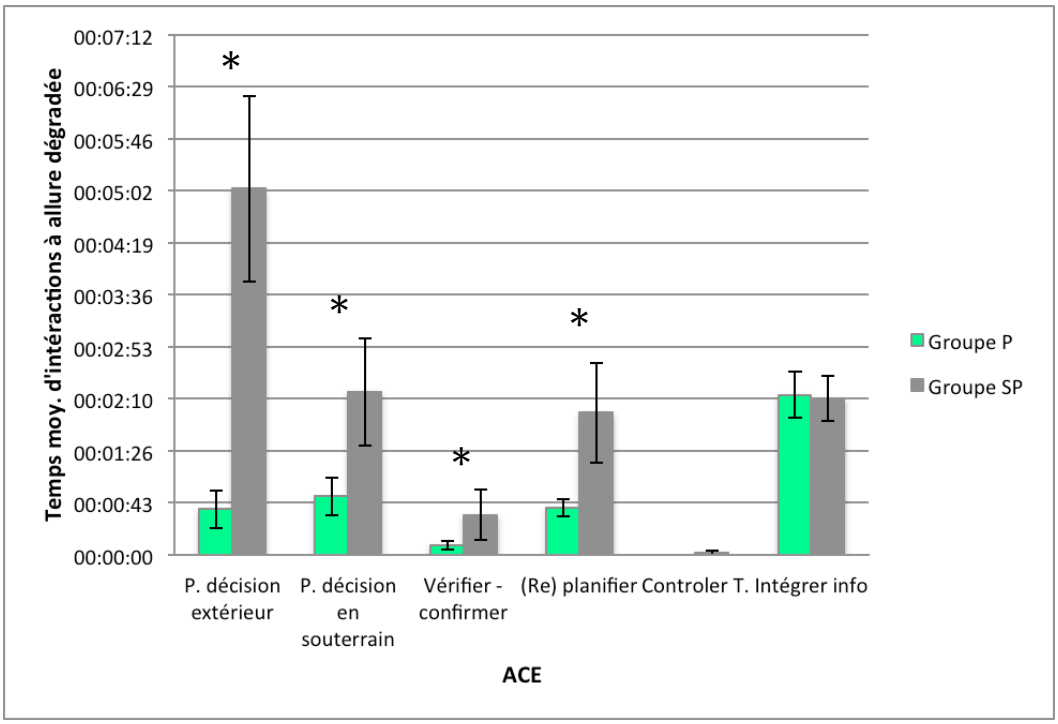


Figure 57. Comparaison du temps d'interaction en allure dégradée entre le groupe PROTOTYPE et le groupe SANS PROTOTYPE.

ACE	Temps moyens en allure dégradée	
	Groupe PROTOTYPE	Groupe SANS PROTOTYPE
P. décision en extérieur	**00:00:38***	**00:05:04***
P. décision en souterrain	**00:00:49***	**00:02:15***
Vérifier - confirmer	**00:00:08***	**00:00:33***
(Re) planifier	**00:00:39***	**00:01:58***
Contrôler T	00:00:00	00:00:02
Intégrer une information	00:02:13	00:02:10

Tableau 32. Comparaison du temps moyen en allure dégradée relatif à chacune des ACE entre les groupes P et SP.

3.2.4. Effet du prototype haptique sur l'issue de l'interaction avec un support d'information pour chaque ACE

***Hypothèse 2.4**: L'utilisation du prototype haptique devrait permettre de diminuer le nombre d'interactions relatif à chacune des ACE soutenue par une fonction haptique du système dont l'issue est négative.*

Les nombres moyens d'interactions avec issue négative pour chacune des ACE sont les suivants :

. Pour l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* : 2,08 pour le groupe PROTOTYPE contre 2,83 pour le groupe SANS PROTOTYPE. La différence n'est pas significative.

. Pour l'ACE *prendre une décision en souterrain :* 1,17 pour le groupe PROTOTYPE et 2,83 pour le groupe SANS PROTOTYPE. La différence n'est pas significative.

. Pour l'ACE *confirmer-vérifier*, 0,17 pour le groupe PROTOTYPE contre 0,75 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,028). Pour l'ACE *intégrer une information inattendue*, 1,75 pour le groupe PROTOTYPE contre 0 pour le groupe SANS PROTOTYPE. Cette différence est significative (p=0,0002). Cependant, les groupes ne sont pas comparables pour cette ACE. En effet, dans le groupe PROTOTYPE il y a eu des erreurs dans l'identification des motifs vibratoires des fonctions ALERTER et SIGNALER du système, alors que dans le groupe SANS PROTOTYPE il n'y a pas eu d'erreur d'identification du signal parce que l'expérimentateur faisait en sorte que le signal auditif envoyé aux participants soit à chaque fois bien entendu. Pour l'ACE *replanifier* et pour l'ACE *contrôler T*, il n'a été observé aucune interaction avec issue négative.

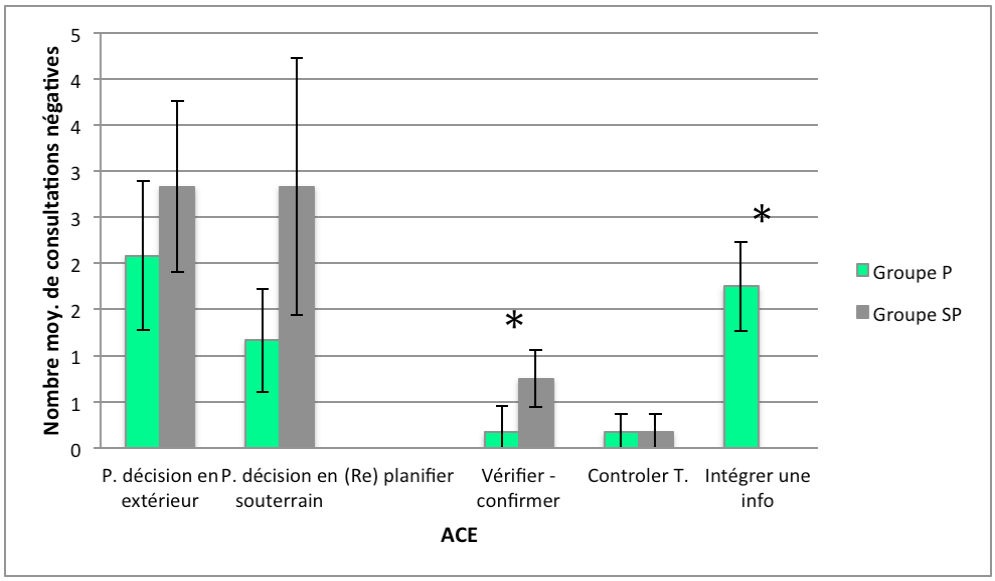


Figure 58. Comparaison de la durée moyenne d'interactions entrainant une issue négative pour chacune des ACE pour chacun des groupes expérimentaux.

ACE	Nombre moyen d'issues négatives		p
	Groupe PROTOTYPE	Groupe SANS PROTOTYPE	
P. décision en extérieur	2,08	2,83	NS
P. décision en souterrain	1,17	2,83	NS
Vérifier - confirmer	**0,17**	**0,75**	**0,028**
(Re) planifier	0,00	0,00	NS
Contrôler T	0,00	0,00	NS
Intégrer une information	**1 ,75**	**0,00**	**0,0002**

Tableau 33. Comparaison de la durée moyenne d'interactions dont l'issue est négative relatives à chacune des ACE entre les groupes AVEC PROTOTYPE et SANS PROTOTYPE.

L'hypothèse 2.4, est partiellement validée, l'utilisation du prototype haptique permet de diminuer le nombre d'interactions négatives, relatives à l'ACE *confirmer-vérifier*.

3.3. Evaluation des fonctions du dispositif

Nous allons à présent évaluer chacune des fonctions du dispositif.

3.3.1. Evaluation de la fonction GUIDER

Afin de comprendre en quoi le prototype haptique soutien l'ACE prendre une décision d'orientation, nous allons nous intéresser plus particulièrement à l'interface du viflex. Le viflex est l'interface dédiée pour la fonction GUIDER.

3.3.1.a) Guidage avec le viflex

Nous nous intéressons tout d'abord à l'interaction avec le viflex. Cette section concerne donc uniquement les données issues du groupe PROTOTYPE.

Au total, 563 motifs haptiques ont été envoyés avec le viflex pour les 12 participants afin qu'ils puissent réaliser l'ACE *prendre une décision d'orientation.* La moyenne par participant est de 47. De façon globale, les messages avec le viflex ont été bien reconnus car le taux de reconnaissance global durant la réalisation du trajet est de 94%. Le taux de reconnaissance sans répétition est de 84% et le taux de reconnaissance avec répétition est de 9%.

Les motifs haptiques non reconnus, qui ne représentent que 6,5%, sont des motifs que les participants ont interprêtés dans une direction qui n'était pas celle souhaitée.

Un très faible nombre de motifs haptiques n'ont pas été perçus par les participants (0,6%). Ceci est lié chaque fois au fait que le participant n'avait pas sa main posée sur le viflex. Lorsque le participant ressentait à nouveau le besoin d'être guidé, il reposait la main sur le viflex et demandait à l'expérimentateur de répéter le motif qu'il n'avait pas eu. Ainsi, à chaque fois, les participants ont demandé à répéter le motif quelques mètres après le point d'orientation. La non perception des motifs haptiques peut être donc être palliée par la fonction répétition du motif.

Motifs haptiques viflex	**Nord**	**Est**	**Ouest**	**Diagonales Nord**	**Diagonales Sud**	**TOTAL**
Nb moy de motif/participant	23	9	10,5	1,5	3	**47**
Positif sans répétition	93,3	87,5	95,2	70,9	78,8	**84**
Positif avec répétition	4,9	6,3	2,8	20,0	9,1	**9**
Négatif – non perçu	0,4	2,7	0	0	0	**0,6**
Négatif – erreur	1,5	3,6	2,1	11,1	12,1	**6,5**
Taux de reconnaissance (Positif + Positif répétition)	98,2%	93,8%	98,0%	90,9%	87,9%	**94%**

Tableau 34. Récapitulatif des taux de reconnaissance (en %) des motifs haptiques de direction envoyés avec le viflex pour chacune des catégories de direction en fonction des critères de reconnaissance.

Les directions indiquées par le viflex sont définies de la façon suivante :

. Nord : en avant
. Est : à droite
. Ouest : à gauche
. Sud : en arrière (cette direction n'a pas été utilisée dans l'expérimentation)
. Diagonales Nord : diagonales Nord-Est et Nord Ouest
. Diagonales Sud : Diagonales Sud-Est et Sud Ouest

Les taux de reconnaissance montrent que toutes les directions sont dans l'ensemble bien reconnues, avec un taux de réussite global de 94%. Les taux globaux de reconnaissance sont respectivement pour la direction Nord de 98,2%, pour la direction Ouest, de 98%, pour la direction Est de 93,8%, pour les diagonales Nord de 90,9% et pour les diagonales Sud de87,9%. Les quatre directions correspondant aux quatre points cardinaux, sont mieux identifiées que les diagonales. Nous pouvons d'ailleurs observer un pourcentage d'erreur de 11,1% pour les diagonales Nord et de 12,1% pour les diagonales Sud.

En résumé, les motifs du viflex sont très bien reconnus pour toutes les directions et entrainent dans 94% une action positive pour l'activité. Le viflex guide le participant de façon efficace. Nous pouvons tout de même noter une performance un peu moins élevée pour les diagonales.

3.3.1.b) Impact de la zone sur le guidage avec le viflex

Sur les 533 motifs haptiques envoyés par le viflex pour soutenir l'ACE *pendre une décision d'orientation*, 367 concernent l'ACE *prendre une décision d'orientation en extérieur* (65,2% des motifs) et 196 concernent l'ACE *prendre une décision d'orientation en intérieur* (34,8%).

Le taux de reconnaissance des motifs haptiques du viflex en extérieur est de 96,6% et celui en intérieur est de 92,3%. Le taux plus élevé d'erreurs en intérieur pourrait être expliqué par les possibilités d'orientations très nombreuses dans les halls d'échange de certaines stations comme Châtelet-les Halles ce qui implique des ambiguïtés possibles dans la compréhension de la direction à suivre avec les messages du viflex.

3.3.1.c) Erreurs de parcours en extérieur

Dans cette étude, l'itinéraire étant imposé, les erreurs de parcours ne pouvaient pas être liées à l'ACE *planifier*. Les erreurs étaient uniquement liées à un mauvais choix d'orientation fait par le participant. Afin de comprendre comment le prototype haptique soutient l'ACE *prendre une décision d'orientation*, il est nécessaire de comprendre dans quel type de situation se déroulent les erreurs. Dans cette section nous avons analysé et comparé les erreurs de parcours commises par les deux groupes.

Si l'on regarde où ont lieu ces messages d'erreur, 53% des messages « mauvaises » routes sont en intérieur, 47,0% en extérieur. Les pourcentages d'erreur sont donc équivalents en intérieur et en extérieur.

En extérieur le groupe PROTOTYPE prend les décisions d'orientation avec le viflex et le groupe sans SP avec une application d'aide à la navigation (utilisation du GPS) de type Google Maps.

En extérieur, on observe quatre situations distinctes où les participants ont commis des erreurs :

- **[SIT. 1]**-A la sortie de la station de RER : juste au moment où l'on passe de l'intérieur et où l'on arrive à l'extérieur dans la rue. A cet endroit il est nécessaire de savoir dans quelle direction partir. A ce moment du trajet 3 erreurs ont été commises pour le groupe PROTOTYPE (concernant 3 participants) et 9 erreurs pour le groupe SANS PROTOTYPE (7 participants).
- **[SIT. 2]**-A un carrefour compliqué (plus de 3 voies) : où il y a plusieurs possibilités et des traversées de rues à réaliser.

Figure 59. Vue du plan de quartier correspondant à la situation [SIT. 2],carrefour compliqué.

Le groupe PROTOTYPE commet 5 erreurs à cet endroit (5 personnes concernées), le groupe SANS PROTOTYPE seulement 2 erreurs (2 personnes concernées). A un carrefour compliqué le guidage avec le viflex peut poser des difficultés car le participant se retrouve face à une ambiguïté en particulier pour des rues qui vont sensiblement dans la même direction.

- **[SIT. 3]**-A un croisement de rue : le participant prend tout droit au lieu par exemple de prendre à droite. Pour ce type de situation on observe 1 erreur pour le groupe SANS PROTOTYPE et 2 erreurs pour le groupe SANS PROTOTYPE.
- **[SIT. 4]**-A l'arrivée à destination, le participant ne la voit pas et continue son chemin sans s'arrêter. Pour le groupe PROTOTYPE, nous avons observé 5 erreurs (4 personnes) et pour le groupe SANS PROTOTYPE, nous avons observé quatre erreurs (3 personnes).

3.3.1.d) Erreurs de parcours en intérieur

Si l'on regarde à présent les erreurs de parcours en environnement intérieur. Dans ce dernier, le groupe PROTOTYPE est toujours guidé avec le viflex et le groupe SANS PROTOTYPE est guidé grâce aux informations du réseau de transport (fléchage, panneau, etc.).

Les erreurs en environnement intérieur concernent quatre situations :

- **[SIT. 5]**-L'entrée dans la zone du RER au forum des Halles : cette situation correspond à un grand hall intérieur dans lequel il y a une grande diversité d'information. On trouve des panneaux concernant le déplacement dans un centre commercial, des panneaux indiquant les sorties (rue et lieux) et des panneaux indiquant l'entrée dans la zone d'accès. Par ailleurs les portes pour se rendre à la zone d'accès ne sont que très peu visibles (sales, abimées et dans un petit renfoncement). Dans cette situation le groupe PROTOTYPE a commis 4 erreurs (4 participants) et le groupe SANS PROTOTYPE a commis 2 erreurs (2 participants). Dans ce cas, le fait d'utiliser le viflex rend les participants moins attentifs à l'environnement, ce qui peut poser des difficultés en cas d'ambiguïté.
- **[SIT. 6]**-La zone d'accès d'un pôle d'échange RATP (exemple : station Chatelet-les Halles ou station Auber): elle correspond à un espace chargé visuellement en panneaux de signalisation correspondant aux sorties, aux accès aux lignes, aux plans de transports. Dans cette zone il y a souvent beaucoup de voyageurs, tous vont dans des directions différentes et il est parfois difficile de se frayer un chemin. Le groupe PROTOTYPE a commis 5 erreurs (5 personnes) dans cette situation et le groupe SANS PROTOTYPE a commis 6 erreurs (5 personnes).
- **[SIT. 7]**-A l'arrivée sur le quai : le participant ne s'est pas dirigé du bon côté du quai. Dans cette situation on observe 2 erreurs pour le groupe PROTOTYPE (2 personnes) et pas d'erreur pour le groupe SANS PROTOTYPE.
- **[SIT. 8]**-En cherchant la bonne sortie à la station d'arrivée. A la station Auber, le panneau correspondant à la bonne sortie n'est pas visible. Pour le groupe PROTOTYPE on observe 5 erreurs (4 personnes) et pour le groupe SANS PROTOTYPE on observe 9 erreurs (9 participants).

Le viflex permet de guider la personne de façon efficace en environnement extérieur lorsque la direction à indiquer est simple.

En environnement intérieur le viflex va entrainer une baisse de l'attention pour la signalisation pouvant conduire à des erreurs. Cependant le viflex peut aussi palier à un manque informationnel en donnant des informations complémentaires à celles accessibles dans le réseau.

3.3.2. Evaluation de la fonction RASSURER

3.3.2.a) Rassurance avec le bracelet

Dans cette section, nous analysons les données du groupe PROTOTYPE, qui avait à disposition la fonction RASSURER en appuyant sur un bouton situé sur le bracelet vibrant. La fonction réassurance n'était disponible que pour le groupe PROTOTYPE, nous n'avons donc pas pu comparer avec le groupe SANS PROTOTYPE.

Sur les 12 participants du groupe PROTOTYPE, seulement 5 ont appuyé sur le bouton de la fonction RASSURER, ce qui représente moins de la moitié des participants. En tout douze demandes de confirmation ont été recensées au cours du trajet. Afin de comprendre quand était utilisée la fonction RASSURER, nous avons relevé les situations dans lesquelles elle avait été utilisée.

En environnement extérieur nous avons quatre situations pour lesquelles certains participants du groupe PROTOTYPE ont demandé à être rassurés :

- **[SIT. 9]**-A un carrefour compliqué : dans ce cas là le participant a identifié la direction dans laquelle se diriger cependant il hésite encore, il va donc demander confirmation qu'il est sur la bonne route. Dans cette situation, nous avons pu observer 5 appuis sur le bouton RASSURER et cela a concerné trois personnes.
- **[SIT. 10]**-Au croisement d'une rue afin de confirmer que la route choisie est la bonne (1 appui/1 personne).
- **[SIT. 11]**-Au moment d'arriver à l'arrêt de bus, afin d'être sur que l'on va attendre au bon arrêt (1 appui/1 personne).
- **[SIT. 12]**-Après avoir reçu le motif vibratoire correspondant au message « mauvaise route ». Le participant se positionne dans la bonne direction à suivre, il fait quelques pas et demande confirmation d'être sur la bonne route (1 appui/1 personne).

En environnement intérieur, nous avons observé trois situations pour lesquelles certains participants du groupe PROTOTYPE ont demandé à être rassurés :

- **[SIT. 13]**-A l'entrée dans la zone d'accès (1 appui/1 personne). Cette situation fait écho à celle expliquée dans la section précédente sur les situations pour lesquelles les participants ont commis des erreurs de route.
- **[SIT. 14]**-Dans la zone d'accès d'un pôle d'échange (1 appui/1 personne). Cette situation fait également écho à la section précédente.
- **[SIT. 15]**-Dans le bus avant la descente afin d'être sur de ne pas avoir dépassé l'arrêt (1 appui/1 personne).

Nous constatons que sur les sept situations pour lesquelles il y a eu une demande de réassurance, six concernent une confirmation liée à l'ACE *prendre une décision d'orientation*. La dernière situation, [SIT 15], est relative à l'ACE *contrôler la gestion du temps.* Dans cette situation le dispositif est utilisé pour vérifier qu'il n'a pas raté l'arrêt.

3.3.3. Evaluation de la fonction ALERTER & SIGNALER

L'ACE *intégrer une information inattendue* est liée aux fonctions ALERTER et SIGNALER. Ces deux fonctions sont mises en œuvre par l'intermédiaire du bracelet vibratoire et du smartphone. Contrairement à la partie empirique n°1, cette ACE ne correspond pas uniquement au fait de prévenir l'utilisateur d'un incident-accident sur sa ligne mais prend en compte également des nouvelles fonctionnalités liées à l'étude des besoins : « alerter quand on se trompe de route »,

« signaler une information culturelle » et « signaler un point d'intérêt ». Dans cette section nous analyserons exclusivement les données du groupe PROTOTYPE.

3.3.3.a) Alerte & signal avec le bracelet vibrant

Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux taux de reconnaissance des motifs reçus par l'intermédiaire du bracelet vibrant pour les fonctions ALERTER et SIGNALER.

Au total 114 motifs vibratoires ont été envoyés grâce au bracelet vibrant pour remplir les deux fonctions précédentes pour les 12 participants du groupe PROTOTYPE. Cela représente environ 9,5 motifs par personne.

Nous obtenons un taux de reconnaissance de 75% sans compter les identifications positives mais hésitantes (15,6% des motifs sont positifs hésitants) ni les identifications positives avec une répétition (8,2% ont été répétés une fois). Si l'on calcule à présent le taux de reconnaissance global des identifications positives (positives + hésitantes + répétées) nous arrivons à un taux de 99%. Ce qui signifie que les motifs du bracelet ont été très bien identifiés.

Messages bracelets	Alerter d'un incident-accident	Signaler une information culturelle	Signaler un point d'intérêt	Alerter quand on se trompe de route
Nombre de motifs total reçus par participant	1	4	2	[1-6]
Positif	41,7	77,8	80,3	100
Positif hésitant	50,0	7,0	5,3	0
Positif répétition	8,3	15,3	9,3	0
Négatif – non senti	0	0	0	0
Négatif - erreur	0	0	5,3	0
Taux de reconnaissance (Positif + P. hésitant + P. répétition).	100%	100%	94,9%	100%

Tableau 35. Récapitulatif des taux de reconnaissance (en %) des messages envoyés avec le bracelet pour chacune des catégories de messages en fonction des critères de reconnaissances.

3.3.3.b) Alerter d'un incident-accident

Le message « alerter d'un incident –accident » est envoyé une seule fois pendant le trajet à chacun des participants. Ce message est traduit par le motif vibratoire « sirène ». Le participant le reçoit alors qu'il se trouve en train de marcher en de zone de surface pour se rendre à un métro. Nous obtenons pour ce motif vibratoire un taux de reconnaissance de 100% cependant uniquement 41,7% des motifs ont été reconnus en moins de 5 secondes, 50% des motifs ont été reconnus de façon hésitante (plus de 5 secondes) et 8,3% des motifs ont été reconnus après une répétition.

3.3.3.c) Alerter quand on se trompe de route

Le message « alerter quand on se trompe de route », dont le motif vibratoire correspondant est « faire demi-tour », est envoyé uniquement quand le participant est en train d'emprunter une mauvaise direction. Il n'y avait donc pas un nombre défini de motifs pour ce message dans le scénario. 11 participants sur 12 se sont trompés au moins une fois de direction au cours du trajet. Le taux de reconnaissance de ce motif est de 100% et le temps de réponse des participants n'excède pas 5 secondes.

On peut supposer que ce fort taux de reconnaissance est dû à deux facteurs :

- le message vibratoire est nettement distinguable par tous les participants,

- lorsque le participant commence à se tromper de route, il est souvent dans une situation d'hésitation entre différentes directions (carrefour, croisement de rue, hall d'échange, etc.). Dans cette situation d'hésitation, le participant est attentif aux informations données par le dispositif. Le fait que le participant soit en attente ou tout au moins attentif aux informations favorise l'identification immédiate du motif vibratoire.

3.3.3.d) Contrôler le déroulement temporel

L'ACE *contrôler le déroulement temporel* est liée à la fonction ALERTER du système d'aide au déplacement Tictact. Pour le groupe PROTOTYPE, cette fonction consiste à envoyer un motif vibratoire « toc-toc », correspondant au message « montée-descente du véhicule » au participant. Quatre motifs vibratoires correspondant à ce message ont été envoyés au cours du scénario à chacun des participants. 100% des motifs vibratoires ont été reconnus par les participants du groupe PROTOTYPE aussi bien à la montée dans le véhicule qu'à la descente. Ce résultat découle du fait que cette catégorie de messages est toujours envoyée à l'utilisateur dans un contexte précis ou une situation précise qui est celui soit de l'attente de son véhicule, le participant se situe donc soit sur le quai, soit à un arrêt (bus, tram, etc.). Soit le contexte est celui de la préparation à la descente de son véhicule, le participant se situe alors dans le véhicule. Dans les deux cas, le participant se doute de la catégorie de message qu'il s'apprête à recevoir, il peut alors profiter du temps d'attente dont il dispose pour se focaliser sur une activité annexe (lecture, utilisation du smartphone, etc.).

Par ailleurs, en situation d'attente du véhicule, le participant est à l'arrêt, il est donc potentiellement plus aisé de percevoir les vibrations. En ce qui concerne la sortie de véhicule, les vibrations liées au transport et à la vitesse du véhicule ne semblent pas 'impacter le ressenti du motif vibratoire au poignet.

3.3.3.e) Signaler une information culturelle

Le message « signaler une information culturelle » ou encore le motif vibratoire « valse » est envoyé quatre fois au participant au cours du trajet. Ces quatre motifs correspondent à quatre lieux culturels à côté desquels le participant est en train de passer. Le taux de reconnaissance de ce motif est de 100% avec 77,8% des motifs reconnus en moins de 5 secondes, 7,0% en plus de 5 secondes et 15,3% avec une répétition.

3.3.3.f) Signaler un point d'intérêt

Le message « signaler un point d'intérêt », correspondant au motif vibratoire « cœur qui bat » est envoyé deux fois à chacun des participants au cours du trajet. Il permet de signaler au participant dans le cadre du scénario, un magasin de spécialités locales. Le taux de reconnaissance de ce motif est de 94,9%, dont 80,3% des motifs reconnus en moins de 5 secondes, 5,3% en plus de 5 secondes, 9,3% avec une répétition et 5,3% de motifs non reconnus. Ce motif est le seul pour lequel nous observons des erreurs d'identification. Ceci est illustré par le verbatim suivant :

> « Quand j'ai eu les vibrations et je ne me souviens plus de quel message il communiquait, c'était devant le magasin de spécialités locales, en fait quand c'était les points d'intérêts je n'y pensais pas (Remarque mais ça peut être à cause du scénario ; ça ne correspond pas à un besoin réel) et du coup je ne les reconnaissais pas. Mais je pense clairement que si je me servais plus souvent du dispositif, j'arriverai à distinguer sans souci surtout si c'est toi qui décide de quel message pour telle fonction. »

Les catégories pour lesquelles l'identification des messages avec répétition sont les plus importantes sont : les « Informations culturelles » (15,3% de messages sont reconnus avec une répétition), les « Points d'intérêt » (9,2%), le message signalant « Un incident » (8,3%) et enfin le message d' « Arrivée à destination » (1,8%). Tous ces messages sont liés à l'ACE *intégrer une information inattendue* visant à intégrer une information nouvelle durant le déplacement. Cette activité n'est pas liée à un élément contextuel précis, elle peut survenir à n'importe quel moment du trajet cela va donc jouer sur l'attention que le participant va avoir quant au dispositif. Dans tous les cas il est important de souligner que le motif vibratoire a toujours permis d'attirer l'attention du participant (il n'est jamais arrivé qu'un motif ne soit pas senti du tout en situation), mais il a parfois fallu une répétition du motif pour que le participant porte son attention dessus afin de le reconnaître.

Les hésitations et les répétitions nécessaires pour l'identification de certains motifs correspondant aux fonctions ALERTER et SIGNALER peuvent être dû au fait que ces fonctions ne sont pas habituellement utilisées par les participants (innovation), donc les gens ne s'attendent pas à l'avoir. Le choix de la nature du point d'intérêt est imposé ce qui biaise également l'évaluation de cette fonction qui devrait permettre de signaler aux utilisateurs des endroits qu'ils ont choisis. Ensuite,

l 'hésitation et la répétition peut-être du au manque d'éléments de contexte. Le message peut arriver à n'importe quel moment, l'utilisateur ne peut donc pas être influencé par le contexte pour identifier le motif vibratoire. Enfin l'hésitation et le besoin de répétition peuvent être dû au design même du motif.

En résumé, les motifs vibratoires du bracelet pour les fonctions ALERTER-SIGNALER ont été très bien reconnus.

VII. CONCLUSION & PERSPECTIVES

1. Définitions des fonctions à soutenir pour optimiser l'activité de déplacement à l'aide de la modalité haptique

Ce travail a permis d'explorer l'espace de conception qui sous-tend la modalité haptique en vue de la conception et l'évaluation d'un dispositif d'aide au déplacement piéton urbain. Il s'agit d'un produit proposant des fonctionnalités d'interaction innovantes dans la mesure où ce type d'interaction est peu répandu dans les produits commercialisés autrement qu'au travers de vibrations très basiques, comme celles que l'on peut percevoir avec le vibreur d'un téléphone. Il existe donc peu de données sur l'usage de cette modalité en dehors du laboratoire et ses applications potentielles. Les dispositifs haptiques ont été décrits jusqu'ici dans une démarche de recherche centrée le plus souvent sur la technologie, mais peu dans une démarche centrée sur l'utilisateur (Anastassova & Roselier, 2010) où la conception est orientée et guidée pour et par l'activité de la personne lors de l'usage d'un dispositif. Dans notre étude la démarche de conception que nous avons élaborée s'est centrée sur l'analyse et la compréhension de l'activité de déplacement dans un réseau de transport urbain complexe. Cette activité a été analysée et décrite au moyen de méthodes classiques de l'ergonomie : observations d'usagers en situation, entretiens, questionnaires mais également à partir d'un travail d'analyse de la littérature sur le déplacement et les propriété de l'haptique. Ce travail d'observation et d'analyse a permis de définir les Activités Cognitives Elémentaires mises en œuvre par tout participant au cours du déplacement. Ces activités cognitives élémentaires impliquent la consultation d'un support d'information, nécessaire pour mener à bien le déplacement. Nous avons réalisé une catégorisation de ces activités cognitives élémentaires à partir des cadres théoriques du wayfinding, (Allen, 1999; Heuten, Henze, Boll, Pielot, 2008 ; Raubal, 2001).

La définition des activités cognitives élémentaires pouvant être assistées par la modalité haptique dans le cadre de l'activité de déplacement a nécessité tout d'abord de caractériser la prise d'informations issues de l'environnement. Il a été nécessaire d'analyser l'activité de déplacement dans une situation spécifique de déplacement alliant étapes en intérieur et en extérieur et en relation forte avec un système d'information complexe.. Au cours de l'activité de déplacement, la prise d'information dans l'environnement est actuellement quasi exclusivement basée sur des indices visuels (panneaux, flèches de direction, informations du smartphone). Cette surexploitation de la modalité visuelle dans un environnement le plus souvent extrêmement bruyant nous a amenés à considérer la modalité haptique comme potentiellement intéressante pour apporter des informations complémentaires.

Cette première partie du travail a permis d'analyser l'activité de déplacement piéton urbain dans les transports en commun. L'analyse d'activité a permis de spécifier les fonctions que devaient avoir un nouveau système d'aide au déplacement utile et utilisable. Cette spécification a été obtenue à partir de l'analyse des besoins conscients exprimés par les usagers et des besoins non exprimés révélés par l'étude de l'activité. Ces besoins se sont exprimés sous forme de fonctions (guider, alerter, signaler et planifier) dont il était nécessaire de spécifier et évaluer la mise en œuvre au travers de la modalité haptique.

Le smartphone étant un élément imposé du dispositif de déplacement à développer, un aspect important du travail a consisté à analyser les données existantes relatives à l'impact du smartphone sur la façon de se déplacer. Il s'est avéré qu'il n'y avait quasiment pas de données publiées sur l'impact du smartphone sur le déplacement. L'analyse d'activité a permis de comparer des groupes d'utilisateurs avec et sans smartphone. De manière surprenante, alors que l'on pense généralement que le smartphone améliore le déplacement, les résultats ont montré que l'utilisation du smartphone impacte négativement la performance de déplacement. L'utilisation du smartphone augmente le temps de trajet, le nombre d'erreurs, et le temps de déplacement en allure dégradée. Les différences entre les sujets avec et sans smartphone portent essentiellement sur les activités cognitives élémentaires mises en œuvre en environnement extérieur (« prendre une décision d'orientation en extérieur » et « confirmer-vérifier »). Concernant l'activité « prendre une décision

d'orientation en extérieur », les sujets avec smartphone ne préparent pas leur trajet et n'ont pas de représentation mentale spatiale du trajet, ce qui n'est pas le cas de ceux qui n'ont pas de smartphone et qui ont préparé leur trajet. Ainsi, les sujets avec smartphone manquent d'informations sur le sens du trajet et vont passer plus de temps à consulter leur smartphone pour obtenir ces informations. Concernant l'activité « confirmer-vérifier », il a été observé que plus de 50% des prises d'informations sont dédiées à cette activité. Le smartphone vient naturellement assouvir ce besoin de réassurance, mais entraîne également par ce biais une perte de performance du déplacement par la possibilité de multiplier les demandes de réassurance.

La baisse de performance liée à l'utilisation du smartphone est surprenante. Elle peut représenter un handicap dans la conception du dispositif d'aide au déplacement envisagé dans ce travail. On peut cependant imaginer que l'ajout au smartphone d'un dispositif haptique puisse au moins compenser la baisse de performance due au smartphone et même entrainer une amélioration globale de l'aide au déplacement.

2. Conception de l'interaction haptique

Après avoir spécifié les fonctions à soutenir pour l'activité de déplacement, il était nécessaire de définir la forme que devait prendre l'interaction entre l'activité de déplacement et la modalité haptique. Il s'agissait de concevoir une interaction pour les fonctions identifiées comme potentiellement pertinentes à être utilisées en haptique. Les objectifs prioritaires étaient d'aboutir à une interaction ayant du sens pour l'action (utile), qui soit facile à comprendre (utilisable) et entraînant une expérience utilisateur positive, c'est-à-dire agréable à utiliser. Pour réaliser ces objectifs, le choix s'est porté vers une démarche de conception participative impliquant l'équipe de conception et un échantillon d'utilisateurs futurs.

Il existe deux moyens de concevoir une interaction signifiante : la mise en place d'un concept d'interaction, à travers l'usage d'un prototype et la mise en place d'un langage d'interaction.

La mise en place d'un concept d'interaction à travers l'usage d'un prototype est basée sur le constat que la modalité haptique est difficile à appréhender. L'utilisation d'une interface technologique a donc permis aux utilisateurs d'expérimenter et de tester la modalité haptique. C'est une conception à travers l'expérience utilisateur avec des aller-retour multiples.

La définition d'un langage d'interaction satisfaisant les critères ergonomiques a représenté une partie importante de la thèse. Cet aspect n'est en général pas valorisé dans la plupart des applications exploitant la modalité haptique, dans lesquelles le langage est mis en place de façon arbitraire. Ici, au contraire, le langage mis en place s'est appuyé sur l'usage des métaphores. De la même façon que dans le domaine des interactions visuelles ou sonores, les métaphores fonctionnent dans le domaine des interactions haptiques et permettent de transmettre des messages associés à des informations ou à des actions. L'évaluation a montré qu'une métaphore haptique favorise une identification facile et une mémorisation, en situation écologique d'un nombre conséquent de messages haptiques. Ce résultat permet d'envisager un usage pérenne de ces messages.

Toute la partie concernant la conception de l'interaction haptique a permis de souligner la place de l'ergonome dans la démarche de conception de produit innovant. Nous avons ici l'ergonome qui se situe dans le rôle de leader de la démarche en faisant de l'analyse de l'activité la base de la conception du dispositif d'aide. Il orchestre la conception du dispositif avec les ingénieurs et rend l'utilisateur co-concepteur (conception participative). L'ergonome porte également l'évaluation du prototype.

3. Apport de l'haptique comme modalité d'interaction pour un système d'aide au déplacement

Cette question ne pouvait pas être étudiée sans avoir fait les démarches préalables. La réponse à la question de la modalité haptique a abouti à la proposition d'un dispositif en trois interfaces, un smartphone et deux interfaces haptiques, le bracelet vibrant et le viflex qui est une plateforme mobile préhensible qui bascule dans les quatre points cardinaux. Plusieurs points ont été examinés pour savoir si ce dispositif pouvait soutenir l'activité. Tout d'abord la performance globale de déplacement a été analysée, selon différents critères classiques tels que le temps de déplacement, le temps et le nombre de consultations d'un support d'information, les erreurs, l'allure de déplacement normale ou dégradée et l'issue de la consultation de l'information. Ces points ont été regardés de façon globale puis de manière détaillée pour chaque Activité Cognitive Elémentaire mobilisée lors de l'activité de déplacement.

Nous avons également évalué la performance de l'interface en elle-même avec le taux de reconnaissance de chaque motif, le nombre de répétitions, les erreurs de reconnaissance.

Nous avons enfin évalué l'expérience de l'utilisateur en situation réelle et en particulier l'expérience subjective du ressenti par l'utilisateur qui teste les aspects émotionnels de l'évaluation (joie, satisfaction, caractère agréable).

Les résultats de ces évaluations suggèrent la potentialité d'utiliser l'interaction haptique pour la plupart des participants. Pour les activités cognitives élémentaires identifiées comme potentiellement soutenables par la modalité haptique, les résultats montrent que la modalité permet effectivement de faciliter leur réalisation tant d'après les données objectives que d'après les données subjectives qui montrent un retour très positif des utilisateurs.

Ainsi, l'utilisation de la modalité haptique comme moyen d'interaction en mobilité parait pertinente et appropriée. L'utilisation de l'haptique en mode vibreur de téléphone est déjà connue depuis plusieurs années pour donner des informations très simples. Le travail présenté ici montre que l'haptique peut donner des informations plus complexes et plus riches de sens. Ceci ouvre des perspectives, comme par exemple le développement de la smartwatch (montre intelligente).

4. Perspectives

Plusieurs pistes peuvent être envisagées pour continuer les travaux initiés dans cette thèse.

Un grand nombre de données issues du travail de conception du dispositif haptique restent à exploiter. La méthode utilisée pour concevoir le dispositif d'interaction haptique reposait sur une phase de libre expression créative qui a permis de générer un grand nombre d'idées. Seules certaines de ces idées ont été retenues. D'autres idées pourraient tout à fait être exploitées et orienter la conception d'un dispositif dans des directions différentes et intéressantes.

Une autre piste de recherche pourrait consister à évaluer la méthode de conception du dispositif haptique utilisée dans ce travail en la comparant avec d'autres méthodes qui pourraient ne pas être basées sur le concept d'interaction et le langage d'interaction.

Dans le même ordre d'idées, il pourrait être intéressant d'optimiser la démarche de conception utilisée dans ce travail. Les résultats montrent que cette démarche est efficace en terme de produit. Cependant dans une perspective d'application pratique, la démarche de conception elle-même devrait faire l'objet d'une analyse en vue de diminuer sa longueur. Pour aller plus loin, il faudrait déterminer les étapes clés permettant d'arriver à des performances similaires en un temps raisonnable pour une utilisation industrielle.

Une retombée prometteuse pourrait être le développement d'éditeurs de motifs vibratoires pour les futurs dispositifs haptiques. Ces éditeurs seront des interfaces qui permettront aux utilisateurs de créer leurs propres motifs tout en étant guidés. Nos résultats suggèrent que les motifs vibratoires utilisés dans un dispositif d'assistance doivent être adaptés à chaque utilisateur. En effet, nous avons observé de grandes variabilités interindividuelles dans la sensibilité aux motifs vibratoires. Il parait donc intéressant de laisser l'utilisateur définir des propres motifs. Le développement d'éditeurs peut bénéficier directement de ce travail de thèse en utilisant la nouvelle classification des paramètres vibratoires utilisables pour donner un motif vibratoire expressif.

Enfin, une dernière perspective fondamentale est le recueil de données sur l'utilisation du système en conditions d'usage normal. Il sera important de confier le prototype à des utilisateurs pour une durée longue afin de tester l'appropriation et l'usage à moyen et long terme en environnement réel. Les tests à long terme permettront également de mettre en évidence les nouveaux usages potentiels qui peuvent être générés par ce nouvel outil (concept de genèse instrumentale). Enfin, les études d'observation en conditions d'usage normal pourront renseigner sur le taux d'acceptation de la modalité haptique, ainsi que sur celui d'un dispositif d'aide au guidage. Dans ce sens, des données relatives à l'expérience utilisateur ont été recueillis lors de l'évaluation du prototype en environnement réel (partie empirique n°3), grâce à des entretiens et questionnaires (voir Annexe 14), cet axe de recherche nécessite d'être poursuivi et les données analysées. On peut tout à fait supposer que ces aides ne soient pas acceptées par une certaine proportion d'utilisateurs. La modalité haptique n'est pas acceptée par une part non négligeable de participants. D'autres ne souhaitent pas forcément être assistés dans toutes leurs activités.

BIBLIOGRAPHIE

Allen, G. (1999). Spatial abilities, cognitive maps, and wayfinding: Bases for individual differences in spatial cognition and behaviour. Dans R. G. Golledge, *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 46-80). Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Amalberti, R., & Hoc, J.M. (1998). Analyse des activités cognitives en situation dynamique: Pour quels buts ? Comment ? *Le Travail Humain , 61* (3), 209-234.

Anastassova, M., & Roselier, S. (2010). A premiliminary user evaluation of vibrational patterns transmitting spatial information. *Workshop at MobileHCI 2010*, (p. 29). Lisbon.

André, E. (2000). *Handbook of natural language processing .*

Aoussat, A. (1996). *Contribution à la modélisation du processus de conception de produits industriels.* Rapport de synthèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, France.

Avraamides, M., Loomis, J., Klatzky, R., & Golledge, R. (2004). Functional equivalence of spatial representations derived from vision and language: evidence from allocentric judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition , 30* (4), 801.

Baddeley, A. (2002). The psychology of memory. *The essential handbook of memory disorders for clinicians* , 1-13.

Baudoin, G., Venard, O., Uzan, G., Paumier, A., & Cesbron, J. (2005). Le projet RAMPE: système interactif d'information auditive pour la mobilité des personnes aveugles dans les transports publics. *Proceedings of the 2nd French-speaking conference on Mobility and ubiquity computing* (pp. 169-176). ACM.

Béguin, P., & Rabardel, P. (2000). Concevoir des activités instrumentées. *Revue d'Intelligence Artificielle , 14*, 35-54.

Behar, I., & Bevan, W. (1961). The perceived duration of auditory and visual intervals: Cross-modal comparison and interaction. *he American journal of psychology* , 16.

Benali-Khoudja, M., Hafez, M., Alexandre, J., & Kheddar, A. (2004). Tactile interfaces: a state-of-the-art survey. *Symposium on Robotics*, *31.*

Bevan, N. (2001). International standards for HCI and usability. *nternational journal of human-computer studies , 55* (4), 533-552.

Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes.* Octarès.

Bolanowski, S., Gescheide, G., & Verrillo, R. (1994). Hairy skin: psychophysical channels and their physiological substrates. *omatosensory & motor research , 11* (3), 279-290.

Borg, J., Larsson, S., & Östergren, P. (2011). The right to assistive technology: For whom, for what, and by whom? *Disability & Society , 26* (2), 151-167.

Bosman, S., Groenendaal, B., Findlater, J., Vissert, T., De Graaf, M., & Markopoulos, P. (2003). GentleGuide: An exploration of haptic output for indoors pedestrian guidance. *Proceedings of the Mobile UCI.* Udine, Italy.

Brangier, E., & Robert J.M. (2014). L'ergonomie prospective: fondements et enjeux. *Le travail humain , 77* (1), 1-20.

Brewster, S., & Brown, L. (2004). Tactons: structured tactile messages for non-visual information display. *Proceedings of the fifth conference on Australasian user interface. 28*, pp. 15-23. Australian Computer Society.

Broadbent, D. (1956). Successive responses to simultaneous stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology , 8* (4), 145-152.

Brown, L., & Kaaresoja, T. (2006). Feel who's talking: using tactons for mobile phone alerts. *CHI'06 extended abstracts on Human factors in computing systems* (pp. 604-609). ACM.

Brown, L., Brewster, S., & Purchase, H. (2005). A first investigation into the effectiveness of tactons. *Eurohaptics Conference, 2005 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems.* IEEE.

Bucheanau, M., & Suri, J. (2000). Experience prototyping. *Proceedings of the 3rd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques* (pp. 424-433). ACM.

Caduff, D., & Timpf, S. (2008). On the assessment of landmark salience for human navigation. *Cognitive processing , 9* (4), 249-267.

Cahours, B., & Lancry, A. (2011). Emotions et activités professionnelles et quotidiennes. *Le travail humain , 74* (2), 97-106.

Chalmé, S., Visser, W., & Denis, M. (2000). Cognitive aspects of urban route planning. *International Conference on Traffic and Transport Psychology , 145*.

Chan, A., MacLean, K., & McGrenere, J. (2008). Designing haptic icons to support collaborative turn-taking. *International Journal of Human-Computer Studies , 66* (5), 333-355.

Chang, D., Nesbitt, K., & Wilkins, K. (2007). The Gestalt principles of similarity and proximity apply to both the haptic and visual grouping of elements. *Proceedings of the eight Australasian conference on User interface-. 64*, pp. 79-86. Australian Computer Society.

Chapanis, A. (1996). *Human Factors in Systems Engineering.* New York: J.Wiley.

Chen, J., & Stanney, K. (1999). A theoretical model of wayfinding in virtual environments: proposed strategies for navigational aiding. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments , 8* (6), 671-685.

Couix, S. (2012). *L'ergonome co-concepteur : quelle contribution à l'analyse des besoins dans la conception de systèmes informatiques industriels.* Rapport de thèse, CNAM.

Couix, S., Darses, F., & De-La-Garza, C. (2012). From needs to requirements for computer systems: the added value of ergonomics in needs analysis. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation , 41*, 737-744.

Craig, J., & Sherrick, C. (1982). Dynamic Tactile Displays. Dans E. Foulke, *Tactual Perception: A Sourcebook* (pp. 209-233). Cambridge University Press.

Daniel, M. (2012). *Les descriptions de configurations spatiales.* HDR, LIMSI-CNRS.

Daniel, M., & Denis, M. (1998). Spatial descriptions as navigational aids: A cognitive analysis of route directions. *Kognitionswissenschaft , 7* (1), 45-52.

Daniel, M.-P., Tom, A., Manghi, E., & Denis, M. (2003). Testing the value of route directions through navigational performance. *Spatial Cognition and Computation , 3* (4), 269-289.

Daniellou, F. (2007). Des fonctions de la simulation des situations de travail en ergonomie. *Activités, 4* (2).

Darken, R., & Peterson, B. (2002). Spatial orientation, wayfinding, and representation. *Handbook of virtual environments* , 493-518.

Darken, R., & Sibert, J. (1996). Wayfinding strategies and behaviors in large virtual worlds. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 142-149). ACM.

Denis, M. (1997). The description of routes: A cognitive approach to the production of spatial discourse. *Current Psychology of Cognition , 16*, 409-458.

Denis, M., Michon, P. E., & Tom, A. (2007). Assisting pedestrian wayfinding in urban settings : why references to landmarks are crucial in direction-giving. Dans G. Allen, *Applied spatial cognition : from research to cognitive technology* (pp. 25-51). Mahwah: LEA.

Denis, M., Pazzaglia, F., Cornoldi, C., & Bertolo, L. (1999). Spatial discourse and navigation: An analysis of route directions in the city of Venice. *Applied cognitive psychology , 13* (2), 145-174.

Dogu, U., & Erkip, F. (2000). Spatial Factors Affecting Wayfinding and Orientation A Case Study in a Shopping Mall. *Environment and Behavior , 32* (6), 731-755.

Dourish, P. (2004). What we talk about when we talk about context. *Personal and ubiquitous computing , 8* (1), 19-30.

Eliott, L., Coovert, M., Prewett, M., Walvord, A., Saboe, K., & Johnson, R. (2009). *A Review and Meta Analysis of Vibrotactile and Visual Information Displays.* Army Research Laboratory. MD: Aberdeen Proving Ground.

Enriquez, M, MacLean, K., & Chita, C. (2006). Haptic phonemes: basic building blocks of haptic communication. *Proceedings of the 8th international conference on Multimodal interfaces*, (pp. 302-309).

ETSI EG. (2002). *Human Factors: Guidelines on the multimodality of icons, symbols and pictograms.*

Feige, S. (2009). Can you feel it?–Using vibration rhythms to communicate information in mobile contexts . *Human-Computer Interaction–INTERACT 2009* (pp. 800-803). Springer Berlin Heidelberg .

Férey, N., Bouyer, G., Martin, C., Drif, A., Bourdot, P., Ammi, M., et al. (2009). Docking de protéines en Réalité Virtuelle : une approche hybride et multimodale. *Technique et science informatiques , 28* (8), 983-1015.

Folcher, V., & Rabardel, R. (2004). Hommes, artefact, activités : perspective instrumentale. Dans P. Falzon, *Ergonomie* (pp. 251-268). Paris: PUF.

Fontaine, S. (2000). *La cognition spatiale dans des environnements souterrains et urbains : aides verbales et graphiques à la navigation.* thèse de doctorat, LIMSI-CNRS.

Fontaine, S., & Denis, M. (1999). The production of route instructions in underground and urban environments. Dans C. Freska, & D. Mark, *Spatial Information Theory* (pp. 83-94). Berlin: Springer.

Gärling, T., Laitila, T., & Westin, K. (1998). *Theoretical foundations of travel choice modeling.* Oxford, Pergamon.

Gaunet, F., & Briffault, X. (2005). Exploring the functional specifications of a localized wayfinding verbal aid for blind pedestrians: Simple and structured urban areas. *Human-Computer Interaction , 20* (3), 267-314.

Gaver, W. (1993). What in the world do we hear?: An ecological approach to auditory event perception. *Ecological psychology , 5* (1), 1-29.

Geldard, F. (1960). Some neglected possibilities for communication. *Science , 131* (3413), 1583-1588.

Giachristis, C., Randall, G., & Roselier, S. (2012). Development of intuitive tactile navigational patterns. *Haptics: Perception, Devices, Mobility, and Communication* (pp. 136-147). Springer Berlin Heidelberg.

Giraudo, M., & Pailhous, J. (1994). Distortions and fluctuations in topographic memory. *Memory & cognition , 22* (1), 14-26.

Goble, A., Collins, A., & Cholewiak, R. (1996). Vibrotactile threshold in young and old observers: the effects of spatial summation and the presence of a rigid surround. *The Journal of the Acoustical Society of America , 99* (4), 2256-2269.

Goldin, S., & Thorndyke, P. (1982). Simulating navigation for spatial knowledge acquisition. *Human Factors , 24*, 457-471.

Golledge, R. (1995). Path selection and route preference in human navigation: A progress report. Dans A. Frank, & W. Kuhn, *Spatial information theory: A theoretical basis for GIS* (pp. 207-222). Berlin: Springer.

Golledge, R. (1999). *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes.* JHU Press.

Goodman, J., Gray, P., Khammampad, K., & Brewster, S. (2004). Using landmarks to support older people in navigation. *Mobile Human-Computer Interaction-MobileHCI 2004* (pp. 38-48). Springer Berlin Heidelberg.

Goodwin, A., & Wheat, H. (2008). Physiological mechanisms of the receptor system . Dans Grunwald, *Human Haptic Perception* (pp. 92-102). Birkhaeuser Verlag AG .

Handel, S., & Buffardi, L. Using several modalities to perceive one temporal pattern. *The Quarterly journal of experimental psychology , 21* (3), 256-266.

Hassenzhal, M., & Tractinsky, N. (2006). User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology , 25* (2), 91-97.

Haué, J. (2004). Intégrer les aspects situés de l'activité dans une ingénierie cognitive centrée sur la situation d'utilisation. *Activités* , 170-194.

Hay, J., Pick, J., & Ikeda, K. (1965). Visual capture produced by prism spectacles. *Psychonomic science, 2* (1-12), 215-216.

Heft, H. (1983). Wayfinding as the perception of information over time. *Population and Environment, 6* (3), 133-150.

Heikkinen, J., Olsson, T., & Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2009). Expectations for user experience in haptic communication with mobile devices. Dans ACM (Éd.), *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, (p. 28).

Helander, M., & Khalid, H. (2006). Affective and pleasurable design. *Handbook of Human Factors and Ergonomics, Third Edition* , 543-572.

Helbing, D. (2001). Traffic and related self-driven many-particle systems. *Reviews of modern physics, 73* (4), 1067.

Heuten, W., Henze, N., Boll, S., & Pielot, M. (2008). Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding. *Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges* (pp. 172-181). Sweden: ACM.

Heye, C., & Timpf, S. (2003). Factors influencing the physical complexity of routes in public transportation networks. *Electronic proceedings of the 10th international conference on travel behaviour research.*

Hile, H., Grzeszczuk, R., Liu, A., Vedantham, R., Kosecka, J., & Borriello, G. (2009). Landmark-Based Pedestrian Navigation with Enhanced Spatial Resaoning. *Proceedings Pervasive 2009* (pp. 59-76). Springer.

Hirtle, S., & Raubal, M. (2013). Many to many mobile maps. *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space* , 141-157.

Ho, C., Tan, H., & Spence, C. (2005). Using spatial vibrotactile cues to direct visual attention in driving scenes. *ransportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour , 8* (6), 397-412.

Hoc, J. (1987). *Psychologie cognitive de la planification.* Presses universitaires de Grenoble.

Huska-Chiroussel, V., & Nunes Magalhaes, M. (2002). Comparaison entre les informations visuelles données par deux types de système de guidage. *Recherche-Transports-Sécurité , 74*, 50-66.

Hutchins, E. (1995). How a cockpit remembers its speeds. *Cognitive science , 19* (3), 265-288.

ISO 13407. (1999). *Human-Centred Design Processes for Interactive Systems.* ISO/IEC.

Jöst, M., Häubler , J., Merdes, M., & Malaka, R. (2005). Multimodal interaction for pedestrians: an evaluation study. *Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces*, (pp. 59-66).

Jones, L., & Sarter, N. (2008). Tactile displays: Guidance for their design and application. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society , 50* (1), 90-111.

Jones, L., Kunkel, J., & Piateski, E. (2009). Vibrotactile pattern recognition on the arm and back. *Perception* .

Jost, J., & Hunyady, O. (5). Antecedents and consequences of system-justifying ideologies. *Current Directions in Psychological Science*, *14.*

Kaaresoja, T., & Linjama,, J. (2005). Perception of short tactile pulses generated by a vibration motor in a mobile phone. *Eurohaptics Conference, 2005 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems.* IEEE.

Kaptelinin, V., & Kuutti, K. (1999). Cognitive tools reconsidered: from augmentation to mediation. *Human factors in information technology , 13*, 145-160.

Karuei, I., Maclean, K., Forely-Fisher, Z., MacKenzie, R., Koch, S., & El-Zohairy, M. (2011). Detecting vibrations across the body in mobile contexts. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 3267-3276). ACM.

Klatzky, R., Loomis,, J., Beall, A., Chance, S., & Golledge, R. (1998). Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion. *Psychological science , 9* (4), 293-298.

Kolers, P., & Brewster, J. (1985). Rhythms and responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance , 11* (2), 150.

Kovach, R., Surette, M., & Aamodt, M. (1988). Following Informal Street Maps Effects of Map Design. *Environment and Behavior , 20* (6), 683-699.

Lemercier, C., & Cellier, J. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile: inattention, distraction et interférence. *Le travail humain , 71* (3), 271-296.

Lenay, C., Thouvenin, I., Guénand, A., Gapenne, O., Stewart, J., & Maillet, B. (2007). Designing the ground for pleasurable experience. *Proceedings of the 2007 conference on Designing pleasurable products and interfaces* (pp. 35-58). ACM.

Lenay, C., Thouvenin, I., Guénand, A., Gapenne, O., Stewart, J., & Maillet, B. (2007). Designing the ground for pleasurable experience. *Proceedings of the 2007 conference on Designing pleasurable products and interfaces* (pp. 35-58). ACM.

Leplat, J., & de Montmollin, M. (2001). *Les compétences en ergonomie.* Octarès éditions.

Licoppe, C., & Levallois-Barth, C. (2009). Configurer l'accessibilité des voyageurs équipés à des services mobiles multimédia. *Réseaux , 4*, 15-48.

Luk, J., Pasquero, J., Little, S., MacLean, K., Levesque, V., & Hayward, V. (2006). A role for haptics in mobile interaction: initial design using a handheld tactile display prototype. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems* (pp. 171-180). ACM.

Lynch, K. (1960). *The image of the city* (Vol. 11). MIT press.

MacLean, K. (2000). Designing woth haptic feedback. *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. 1*, pp. 783-788. IEEE.

MacLean, K. (2008). Haptic interaction design for everyday interfaces. *Reviews of Human Factors and Ergonomics , 4* (1), 149-194.

MacLean, K., & Enriquez, M. (2003). Perceptual design of haptic icons. *Proceedings of EuroHaptics*, (pp. 351-363).

Maguire, M. (2001). Methods to support human-centred design . *International Journal of Human-Computer Studies , 55*, 587-634.

May, A., Ross, T., Bayer, S., & Tarkiainen, M. (2003). Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications. *Personal and Ubiquitous Computing , 7* (6), 331-338.

Meilinger, T., Knauff, M., & Bülthoff, H. Working memory in wayfinding—A dual task experiment in a virtual city. *Cognitive Science , 32* (4), 755-770.

Meneghetti, C., Fiore, F., Borella, E., & De Beni, R. (2011). Learning a map of environment: The role of visuo-spatial abilities in young and older adults. *Applied Cognitive Psychology , 25* (6), 952-959.

Michon, P., & Denis, M. (2001). When and why are visual landmarks used in giving directions? *Spatial information theory* , 292-305.

Miller, T., & Zelzenik, R. (1998). An insidious Haptic invasion: adding force feedback to the X desktop. *n Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 59-64). ACM.

Mollo, V., & Falzon, P. (2004). Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics , 35* (6), 531-540.

Montello, D. (2005). Navigation. Dans P. Shah, & A. Miyake, *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 257-294). Cambridge: Cambridge University Press.

Morley, J., & Rowe, M. (1990). Perceived pitch of vibrotactile stimuli: effects of vibration amplitude, and implications for vibration frequency coding. *The Journal of physiology, , 431* (1), 403-416.

Mundutéguy, C. (2001). Des représentations singulières d'une situation d'interaction aux prédictions d'action convergentes. *EPIQUE*, (p. 63).

Nardi, B. (1996). Studying context: A comparison of activity theory, situated action models, and distributed cognition. *Context and consciousness: Activity theory and human-computer interaction* , 69-102.

Naumann, A., Wechsung, I., & Hurtienne J. (2010). Multimodal interaction: A suitable strategy for including older users? *nteracting with Computers*, *22*, pp. 465-474.

Nelson, J., Buisine, S., & Aoussat, A. (2012). A methodological proposal to assist prospective ergonomics in projects of innovative design. *Le Travail Humain , 75* (3), 279-305.

Nelson, J., Couix, S., Wolff, M., Cabon, P., & Uzan, G. (2006). Déplacements urbains de personnes non voyantes: apports de la fréquence cardiaque comme indicateur de stress. *Actes de la conférence ERGOIA.*

Nguyen, C. (2013). *Du véhicule thermique au véhicule électrique : pratiques instrumentées et vécus de l'autonomie restreinte.* Rapport de thèse, Télécom ParisTech.

Nielsen, J. (1994). Usability inspection methods. *Conference companion on Human factors in computing systems* (pp. 413-414). ACM.

Norman, D. (1999). Affordance, conventions, and design. *Interactions , 6* (3), 38-43.

NUREG-0711. (1994). *Nuclear Regulatory Commission. Human Factors Engineering Program Review Model.* Washington: The NRC Public Document Room.

O'Neil, M. (1991). Evaluation of a Conceptual Model of Architectural Legibility. *Environment and Behavior , 23* (3), 259-284.

Oulasvirta, A., Tamminen, S., Roto, V., & Kuorelahti, J. (2005). Interaction in 4-Second Burst: The Fragmented Nature of Attentional Resources in Mobile HCI. *CHI.* Portland.

Passini, R. (1984). Spatial representations, a wayfinding perspective. *Journal of environmental psychology , 4* (2), 153-164.

Passini, R. (1996). Wayfinding design: logic, application and some thoughts on universality. *Design Studies , 17* (3), 319-331.

Passini, R., Proulx, G., & Rainville, C. (1990). The spatio-cognitive abilities of the visually impaired population. *Environment Behaviour , 22*, 91-118.

Patesson, R., & Lecomte, N. (1999). User needs analysis : an analysis based on the study of activities of the traveller. *Proceedings of the 8th International Conference on the Human-Computer Interaction.* Munich.

Pielot, M., Poppinga, B., & Boll, S. (2010). PocketNavigator: Vibro-Tactile Waypoint Navigation for Everyday Mobile Devices. *Proceedings of MobileHCI'10.* Lisbone.

Pinsky, L. (1992). *Concevoir pour l'action et la communication: essais d'ergonomie cognitive.* Berne : Peter Lang.

Ponnelle, S., Vaxevanoglou, X., & Garcia, F. (2012). L'usage des outils d'évaluation du stress au travail: perspectives théoriques et méthodologiques. *Le travail humain , 75* (2), 179-213.

Posner, M., Snyder, C., & Davidson, B. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of experimental psychology: General , 109* (2), 160.

Röder, B., Rösler, F., & Spence, C. (2004). Early vision impairs tactile perception in the blind. *Current Biology , 14* (2), 121-124.

Rüetschi, U., & Timpf, S. (2005). Modelling wayfinding in public transport: Network space and scene space. Dans C. Freska, M. Knauff, B. Krieg-Brückner, B. Nebel, & T. Barkowsky, *Spatial Cognition IV: Reasoning, Action, and Interaction* (Vol. 3343, pp. 24-41). Berlin: Springer.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies.* Paris: Armand Colin.

Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: a developmental perspective. *Interacting with Computers , 15* (5), 665-691.

Rabardel, P., & Pastré, P. (2005). *Modèles du sujet opur la conception, Dialectique activités développement .* Toulouse: Octarès.

Radoczky, V. (2007). How to design a pedestrian navigation system for indoor and outdoor environments. *Location Based Services and TeleCartography* .

Raubal. (2001). Ontology and epistemology for agent-based wayfinding simulation. *International Journal of Geographical Information Science , 15* (7), 653-665.

Raubal, M. (2001). Human wayfinding in unfamiliar buildings: a simulation with a cognizing agent. (Citeseer, Éd.) *Cognitive Processing , 2* (3), 363-388.

Relieu, M., Salembier, P., & Theureau, J. (2004). Introduction au numéro spécial «activité et action/cognition située». *Activités , 1* (2), 1-10.

Richard, J., Bonnet, C., & Ghiglione, R. (1990). *Traité de psychologie cognitive2: le traitement de l'information symbolique.* Dunod.

Robert, J., & Brangier, E. (2009). What is prospective ergonomics? A reflection and a position on the future of ergonomics. *Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers* , 162-169.

Roger, M., Bonnardel, N., & Le Bigot, L. (2011). Landmarks' use in speech map navigation tasks. *Journal of Environmental Psychology , 31* (2), 192-199.

Ross, D., & Blasch, B. (2000). Wearable interfaces for orientation and wayfinding. *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies* (pp. 193-200). ACM.

Roudaut , A; Lecolinet, E;. (2007). Un espace de classification pour l'interaction sur dispositifs mobiles. *Proceedings of the 19th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine* (pp. 99-106). ACM.

Salembier. (2013). Quelles sources d'inspiration théoriques et quelles méthodes empiriques pour l'analyse de l'expérience vécue en psychologie ergonomique? *Activités humaines, Technologies et Bien-être. Actes du 7ème colloque de psychologie ergonomique, Epique 2013.* Bruxelles: Arpege Science Publishing.

Spence, C., & Driver, J. (1997). Audiovisual links in exogenous covert spatial orienting. *Perception & psychophysics , 59* (1), 1-22.

Spence, C., & Ho, C. (2008). Tactile and multisensory spatial warning signals for drivers. *IEEE TRansactions on Haptics , 1*, 121-129.

Stern, E., & Portugali, J. (1999). Environmental cognition and decision making in urban navigation. *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes* , 99-118.

Stern, E., & Portugali, J. (1999). Environmental Cognition and Decision Making in Urban Navigation. Dans R. G. Golledge, *Wayfinding behavior : Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 99-120). Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.

Suchman, L. (1987). *Plans and Situated Actions: the problem of human-machine communication.* Cambridge: Cambridge University Press.

Tang, A., McLachlan, P., Lowe, K., Saka, C., & MacLean, K. (2005). Perceiving ordinal data haptically under workload. *Proceedings of the 7th international conference on Multimodal interfaces* (pp. 317-324). ACM.

Taylor, H., & Tversky, B. (1992). Descriptions and depictions of environments. *Memory & Cognition , 20* (5), 483-496.

Ternes, D., & MacLean, K. (2008). Designing large sets of haptic icons with rhythm. *Proceeding of Eurohaptics* (pp. 199-208). Paris: Eurohaptics Society.

Thayer, S. Social touching. Dans W. Schiff, & E. Foulke, *Tactual perception: a sourcebook* (pp. 263-304). Cambridge University Press , Cambridge, UK.

Theureau, J. (2005). Les méthodes de construction de données du programme de recherche sur les cours d'action et leur articulation collective, et… la didactique des activités physiques et sportives. *Impulsion , 4*, 281-303.

Tkacz, S. (1998). Learning map interpretation: Skill acquisition and underlying abilities. *Journal of Environmental Psychology , 18* (3), 237-249.

Tolman, E. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological review , 55* (4), 189.

Tsukada, K., & Yasumrua, M. (2004). Activebelt: Belt-type wearable tactile display for directional navigation. *Proceedings of UbiComp2004* (pp. 384-399). Springer LNCS.

Tversky, B. (2003). Structures Of Mental Spaces How People Think About Space. *Environment and behavior , 35* (1), 66-80.

Tversky, B., Franklin, N., Taylor, H., & Bryant, D. (1994). Spatial mental models from descriptions. *JASIS , 45* (9), 656-668.

Tversky, B., Taylor, H., & Mainwaring, S. (1997). Langage et perspective spatiale (Language and spatial perspective). Dans M. Denis, *Langage et Cognition Spatiale* (pp. 25-49). Paris: Masson.

Uzan , G., Mbodj, M., Mégard, C., & Brunet, L. (2011). Besoins des voyageurs dans les transports collectifs: perceptions, interactions et place de l'haptique dans la prise d'information. *Projet Tictact, WP1, Délivrable projet.* Paris.

Valentin, A., Lancry, A., & Lemarchand, C. (2010). La construction des échantillons dans la conception ergonomique de produits logiciels pour le grand public. Quel quantitatif pour les études qualitatives? *Le travail humain , 73* (3), 261-290.

Van Asselen, M., Fritschy, E., & Postma, A. (2006). The influence of intentional and incidental learning on acquiring spatial knowledge during navigation. *Psychological Research , 70* (2), 151-156.

Van Erp, J., & Spapé, M. (2003). Distilling the underlying dimensions of tactile melodies. *Proceedings of Eurohaptics*, (pp. 111-120).

Van Erp, J., Van Veen, H., Jansen, C., & Dobbins, T. (2005). Waypoint navigation with a vibrotactile waist belt. Dans A. T. Applied (Éd.).

Verillo, R., Fraioli, A., & Smith, R. (1969). Sensation magnitude of vibrotactile stimuli. *Perception & Psychophysics , 6* (6), 366-372.

Verillon, P., & Rabardel, P. (1995). Cognition and artifacts: A contribution to the study of though in relation to instrumented activityCognition and artifacts: A contribution to the study of though in relation to instrumented activity. *European journal of psychology of education , 10* (1), 77-101.

Vidal-Gomel, C. (2002). Systèmes d'instruments des opérateurs. Un point de vue pour analyser le rapport aux règles de sécurité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé , 4-2*.

Walker, J., & Scott, K. (981). Auditory–visual conflicts in the perceived duration of lights, tones, and gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance , 7* (6), 1321.

Wickens, C. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theorical Issues in Ergonomics Science , 3* (2), 159-177.

Wickens, C. (1984). Processing resources in attention. Dans R. Parasuraman, & D. Davies, *Varieties of attention* (pp. 63-102). San Diego: Academic Press.

Wiertlewski, M., Trannoy, G., Roselier, S., Mégard, C., Lozada, J., & Hafez, M. Interfaces tactiles vibratoires.

Wogalter, M., Rashid, R., Clarke, S., & Kalsher, M. (1991). Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Evaluating the behavioral effectiveness of a multi-modal voice warning sign in a visually cluttered environment.

Wulff, I., Westgaard, A., & Rasmussen, B. (1994). Ergonomic criteria in large- scale engineering design–i management by documentation only? formal organization vs. designers' perceptions. *Applied Ergonomics , 30* (3), 191-205.

Zipf, A., & Jöst, M. (2006). Implementing adaptive mobile GI services based on ontologies: Examples from pedestrian navigation support. *Computers, Environment and Urban Systems , 30* (6), 784-798.

ANNEXES

Annexe 1. Profils des membres de l'équipe de conception pour chacun des partenaires.

Profil de l'équipe de conception	Armines	Caminéo	CEA	Goobie	THIM	RATP
Ergonome			2		2	
Designer		1	1			
Ingénieur produit/système info						2
Ingénieur mécanique-électronique			3	1		
Ingénieur informaticien-IHM		2	1	1		
Ingénieur environnement virtuel	2					

Tableau 36. Récapitulatif des participants à l'étude exploratoire.

Annexe 2. Panel des participants de la partie empirique n°1

Participants	**Sexe**	**Age**	**Profession**	**Usager RATP**	**Modalité transport**	**Usage Smartphone**
Participant 1	F	31	Assistante pédagogique	Régulier	Métro-Tram-Bus	Non
Participant 2	H	39	Enseignant	Régulier	Métro	Non
Participant 3	F	66	Mère au foyer	Occasionnel	Métro-Tram-Bus	Non
Participant 4	H	34	Consultant	Régulier	Bus	Smartphone
Participant 5	F	45	Agent administratif	Régulier	Métro-Tram-Bus	Smartphone
Participant 6	F	23	Sans emploi	Occasionnel	Bus	Non
Participant 7	H	60	Retraité	Occasionnel	Métro-Tram-Bus	Non
Participant 8	H	29	Assistant multimédia	Occasionnel	Métro	Smartphone
Participant 9	H	38	Ingénieur Informatique	Régulier	Métro	Smartphone
Participant 10	F	24	Etudiante	Occasionnel	Métro	Smartphone

Tableau 37. Récapitulatif des participants à l'étude exploratoire.

Participants	Sexe	Age	Profession	Usage Smartphone	**Profil usager**	Expertise réseau	Expertise trajet	Utilisation des transports RATP
Participant 1	M	25	Ingénieur	Non	Régulier	36/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 2	M	24	RH	Non	Régulier	34/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 3	M	25	Ingénieur	Non	Régulier	33/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 4	M	21	Etudiant urbanisme	Non	Occasionnel	08/40	non	Moins d'une fois/mois
Participant 5	M	49	Médecin	Non	Occasionnel	09/40	non	Moins d'une fois/mois
Participant 6	M	35	Informaticien	Non	Occasionnel	23/40	non	Une fois/mois
Participant 7	F	20	Service-civique	Non	Occasionnel	05/40	non	Moins d'une fois/mois
Participant 8	F	24	Etudiante juriste	Non	Régulier	18/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 9	F	24	Ergonome	Non	Occasionnel	24/40	non	Une fois/mois
Participant 10	F	35	Ingénieur	Non	Régulier	32/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 11	F	36	Directrice d'association	Non	Régulier	36/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 12	M	25	Ingénieur	Oui	Régulier	32/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 13	M	26	Ingénieur	Oui	Occasionnel	34/40	non	Une fois/mois
Participant 14	M	26	Contrôleur de gestion	Oui	Occasionnel	13/40	non	Moins d'une fois/mois
Participant 15	M	33	Chercheur en mécanique	Oui	Occasionnel	20/40	non	Une fois/mois
Participant 16	M	30	Ingénieur chercheur	Oui	Occasionnel	15/40	non	Une fois/mois
Participant 17	F	24	Ingénieur	Oui	Occasionnel	35/40	non	Plus d'une fois/mois
Participant 18	F	25	Consultante	Oui	Régulier	34/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 19	F	25	Hôtesse d'accueil	Oui	Régulier	31/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 20	F	26	Etudiante robotique	Oui	Occasionnel	25/40	non	Plus d'une fois/mois
Participant 21	F	24	Etudiante médecine	Oui	Régulier	36/40	oui	Plus d'une fois/mois
Participant 22	F	25	Etudiante ergonome	Oui	Occasionnel	06/40	non	Moins d'une fois/mois

Tableau 38. Récapitulatif des participants à l'étude d'activité de déplacement – la couleur verte est attribuée aux personnes correspondant au profil « usager régulier », la couleur bleue au profil « usager occasionnel ».

Annexe 3. Questionnaire – Expérimentations N°1 & N°3

(1) La première partie était un questionnaire permettant de recueillir des informations sur la ville de résidence, le nombre d'année de résidence en Ile de France, les habitudes, la fréquence des déplacements en transport en commun et les outils d'aide utilisés habituellement pour se déplacer. Cette partie du questionnaire a notamment permis d'identifier les personnes utilisant régulièrement leur smartphone comme outil d'aide au déplacement aussi bien pour leur trajet à pied qu'en transport en commun.

(2) La seconde partie du formulaire proposait une liste de quartiers ainsi qu'une liste de stations de métro auxquelles étaient intégrés les quartiers et stations correspondant à ceux traverser pendant l'expérimentation. Chaque participant devait indiquer à quelle fréquence il passait à pied dans ces différents endroits. Cette partie permettait alors d'obtenir des informations sur le niveau de connaissance du trajet-scénario. Les participants considérés comme novice du trajet ne connaissaient ni le quartier de départ ni le quartier d'arrivée et n'empruntaient jamais ou de façon très occasionnelle (fréquence annuelle ou nulle) les lignes de métro situées entre le point de départ et d'arrivée. Les participants experts quant à eux, se déplaçaient dans les quartiers de départ et d'arrivée et sur les lignes les joignant de façon quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle.

(3) La troisième partie du formulaire était un test permettant d'évaluer le niveau de connaissance du réseau de transports parisien. Le test était sur 40 points. Les personnes ayant obtenu une note entre 0 et 13 était considéré comme novice du réseau, entre 13 et 26 moyens et 26 et 40 experts.

Questionnaire – Partie 1

Les données recueillies à l'aide de ce questionnaire vont permettre de constituer les différents groupes de participants pour les tests du projet Tictact. Les données resteront confidentielles, elles seront utilisées uniquement pour l'expérimentation et en aucun cas à des fins commerciales.
Les réponses à ce questionnaire ayant un impact fort sur l'expérimentation, il est important que vous répondiez sans aucune aide extérieure (internet, smartphone, tiers personnes, plan ratp, etc) et de la façon la plus spontanée possible : si vous ne savez pas, ce n'est pas grave! La participation à ce questionnaire prend une dizaine de minutes en moyenne.

1. Votre Nom et Prénom …

2. Quel est votre âge ?

3. Quelle est votre profession ?

Quelle est votre ville de résidence ? Si vous habitez en Ile de France, depuis combien de temps ?

4. A Paris, utilisez-vous les transports en commun ?

5. Si oui, à quelle fréquence ?

- ◯ Tous les jours.
- ◯ Au moins une fois par semaine.
- ◯ Au moins une fois par mois.
- ◯ Au moins une fois par an.
- ◯ J'ai régulièrement emprunté le réseau par le passé mais ce n'est plus le cas actuellement.
- ◯ Je n'ai jamais emprunté le réseau de transport en commun parisien.

6. Quels sont les transports que vous empruntez principalement ? (métro, bus, RER, vélo, etc.) ?

7. Quelles sont les lignes de métro que vous empruntez le plus fréquemment ?

8. Quels sont les outils d'aides que vous utilisez pour préparer un itinéraire ?

9. Quels sont les outils d'aides que vous utilisez au cours de votre trajet pour avoir les informations nécessaires pour mener à bien votre activité ?

10. Possédez-vous un smartphone ?

11. Si oui… depuis combien de temps ?

12. Utilisez-vous votre smartphone lors de vos déplacements en transports en commun à Paris ?

- ◯ Souvent
- ◯ De temps en temps
- ◯ Jamais

13. Utilisez-vous votre smartphone pour planifier vos itinéraires en transport en commun ?

- ◯ Souvent
- ◯ De temps en temps
- ◯ Jamais

14. Utilisez-vous votre smartphone pour trouver votre route lorsque vous êtes à pied dans une ville ?

- ◯ Souvent
- ◯ De temps en temps
- ◯ Jamais

Questionnaire d'évaluation d'expertise trajet – Partie 2

1. Compléter le tableau ci-dessous en indiquant le nombre de fois où vous passez à pied dans les stations suivantes :

	Tous les jours	Au moins une fois par semaine	Au moins une fois par mois	Au moins une fois par an	Je connais bien mais je n'y passe pas/plus régulièrement	Je n'y suis jamais passé(e)
Châtelet-les Halles	○	○	○	○	○	○
St Lazare	○	○	○	○	○	○
Denfert-Rochereau	○	○	○	○	○	○
Auber	○	○	○	○	○	○
Gare du Nord	○	○	○	○	○	○
Nation	○	○	○	○	○	○
la Défense	○	○	○	○	○	○

2. Compléter le tableau ci-dessous en indiquant le nombre de fois où vous passez à pied dans les quartiers suivants :

	Tous les jours	Au moins une fois par semaine	Au moins une fois par mois	Au moins une fois par an	Je connais bien mais je n'y passe pas/plus régulièrement	Je n'y suis jamais passé(e)
Quartier Bastille	○	○	○	○	○	○
Quartier St Michel	○	○	○	○	○	○
Quartier St Lazare	○	○	○	○	○	○
Quartier Châtelet	○	○	○	○	○	○
Quartier Nation	○	○	○	○	○	○
Quartier Denfert-Rochereau	○	○	○	○	○	○
Quartier Charles de Gaulle-Etoile	○	○	○	○	○	○
Quartier Porte Dauphine	○	○	○	○	○	○

Test d'évaluation d'expertise réseau **(7 minutes) –** Partie 3

CONSIGNE : Vous devez répondre le plus rapidement possible aux 20 questions suivantes.

ATTENTION : Il est très important que y répondiez sans utiliser d'outils d'information (internet, plan RATP, smartphone...) et sans l'aide d'une tiers personne.

L'objectif du questionnaire est d'évaluer votre connaissance/expertise du réseau de transport en commun parisien, le but n'est donc pas d'avoir la meilleure note possible !

PARTIE 1

Répondre par vrai ou par faux aux 20 questions suivantes :

1- Le numéro le plus élevé attribué à une ligne de métro est le 14.

2- Lorsqu'on part de Château de Vincennes sur la ligne 1 et qu'on va vers Charles de Gaulle Etoile, on ne passe pas par la station les Halles.

3- A Charles de Gaulles Etoile il y a 5 possibilités de correspondance : la 1, 2, 3, C et A.

4- Barbès Rochechouart se situe sur les lignes 4 et 9.

5- Pour aller de l'assemblée Nationale vers Gare St Lazare en prenant la ligne 12, il faut prendre la direction Mairie d'Issy.

6- La ligne 6 dessert entre autres les stations suivantes : Trocadéro, Châtelet, Place d'Italie, Nation.

7- Pour aller de République jusqu'à Trocadéro en prenant la ligne 9, il faut prendre la direction Pont-de-Sèvres.

8- En prenant la ligne 14 pour aller de Bercy jusqu'aux Halles, on passe par Gare de Lyon.

9- Lorsqu'on part de St Michel et que l'on veut aller à Porte de Pantin, on change de ligne à Gare de l'Est.
10- On passe par la Motte Piquet Grenelle quand on va à Boulogne Pont de St Cloud avec la ligne 10.
11- La ligne 11 a pour direction Mairie des Lilas et Châtelet.

12- La couleur de la ligne 7 est le vert.

13- Je passe par Châtelet pour aller de Montparnasse à St Germain des près.

14- Il existe plus de 200 lignes de bus sur le réseau RATP.

15- Quand j'arrive à Châtelet avec le RER B et que je dois prendre la correspondance pour la ligne 14, je dois prendre 2 tronçons de tapis roulant avant d'y arriver.

16- Quand je suis à Gare du Nord et que je veux aller à Odéon, je prends la ligne 4 directions Porte de Clignancourt.

17- La couleur de la ligne 1 est le jaune.

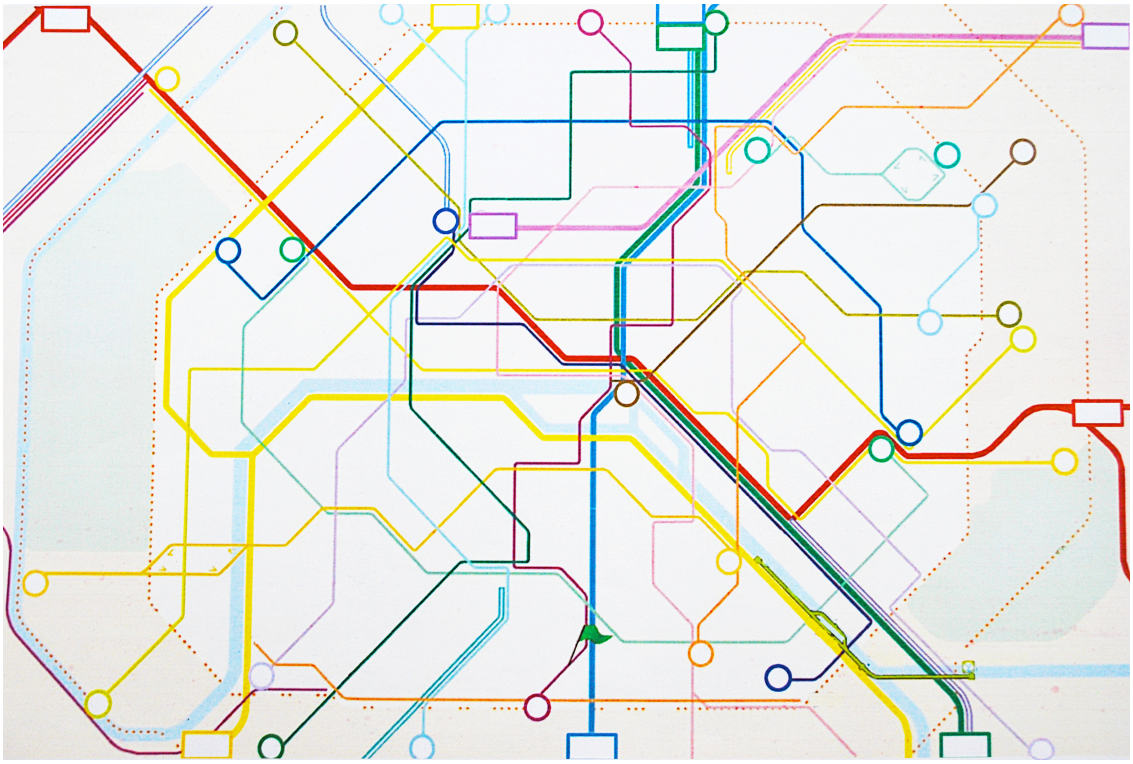
18- La ligne 13 a 3 directions possibles en faisant une fourche d'un côté de la ligne.

19- La ligne 4 dessert entre autres les stations suivantes : Alesia, Vavin, Odéon, Etienne Marcel
20- Quand je pars de Porte Dauphine avec la 2 et que je veux rejoindre Place de Clichy, je passe par République.

PARTIE 2

Placer sur le plan RATP ci-dessous :

- Le RER B
- Le RER A
- Le RER C
- La ligne 4
- La ligne 12
- La ligne 14
- La ligne 6
- La ligne 1
- La ligne 10
- La ligne 13
- La station : les Halles
- La station : Denfert-Rochereau
- La station : Porte de Clignancourt
- La station : Gare de Lyon
- La station : Montparnasse
- La station : Gare du Nord
- La station : St Lazare
- La station : Place d'Italie
- La station : Olympiade
- La station : Charles de Gaulle Etoile



Annexe 4. Scénario de déplacement détaillé – Etude activité de déplacement – Partie empirique N°1

Le point de départ du scénario de l'expérimentation est l'adresse d'un particulier : 12 rue des Portes Blanches dans le 18ème arrondissement de Paris. A partir de cette adresse le participant doit se rendre en métro dans un café au 21 rue Auber dans le 9ème arrondissement pour un rendez-vous. Grâce au site internet de la RATP (www.ratp.fr) nous avons pu déterminer le trajet le plus court et avec le moins de correspondance pour se rendre à destination. L'itinéraire conseillé par le site de planification est de rejoindre en marchant la station Marcadet-Poissonnier (5 minutes), puis de prendre la ligne de métro 12 en direction de Front Populaire (10 minutes), de descendre à la station St Lazare puis de marcher jusqu'au 21 rue Auber (5 minutes). Le trajet total sans perturbation est estimé à 20 minutes porte à porte.

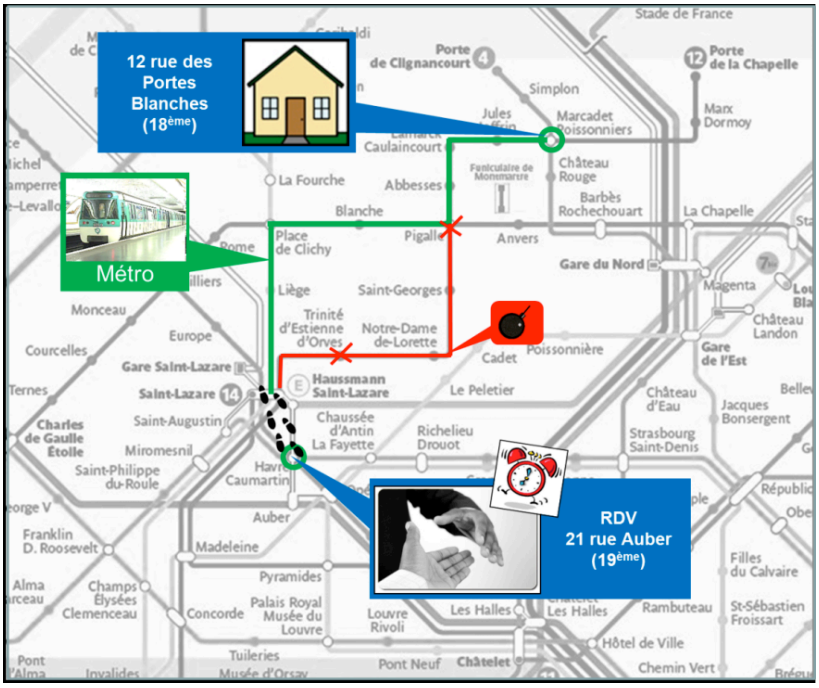


Figure 60. Illustration du scénario de déplacement mise en place pour l'étude.

Au cours du trajet, le participant va être confronté à une perturbation inattendue entrainant une replanification d'itinéraire. Lorsque ce dernier se trouve sur la ligne 12, l'expérimentateur va l'informer de la coupure de la ligne suite à la présence d'un coli piégé, l'obligeant à descendre du métro à la station Notre Dame de Lorette. Cette station est à la croisée des lignes 12 et 2. Cela permet ainsi au participant de pouvoir élaborer un itinéraire alternatif tout en restant dans le réseau du métro et sans rebrousser chemin. Le participant doit alors poursuivre son déplacement en surmontant cet incident imprévu et rejoindre coûte que coûte sa destination.

A partir de la station Notre Dame de Lorette, plusieurs itinéraires sont possiblement réalisables pour rejoindre la destination (voir Figure 61).

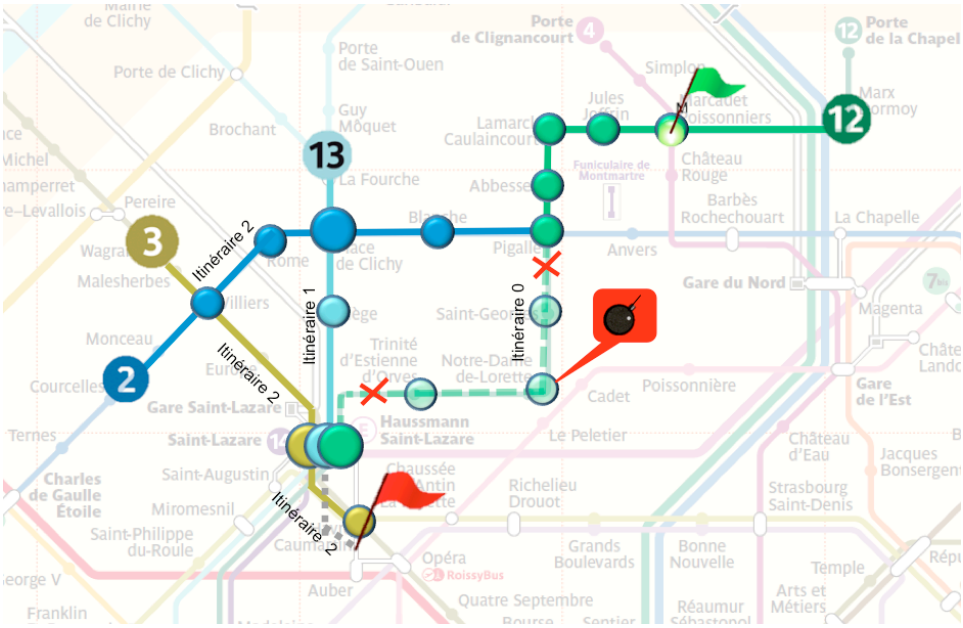


Figure 61. Récapitulatif des différents itinéraires réalisés par les participant pour se rendre du point de départ (12 rue des Portes Blanches, 18ème) au point d'arrivée (21 rue Auber, 19ème). L'itinéraire 0 est l'itinéraire nominal et les 2 autres sont les itinéraires dégradés.

A partir de l'endroit ou est simulée la perturbation de transport, plusieurs possibilités d'itinéraires s'offrent au participant. Ces itinéraires ont des niveaux de difficulté différents dépendant du nombre de stations parcourues, de la taille des stations de correspondance et de destination, de l'affluence sur la ligne. Parmi ces itinéraires deux d'entre eux ont le meilleur rapport entre le temps de parcours et le nombre de correspondance en prolongent respectivement le trajet d'une dizaine de minutes (données issues du site internet de la RATP). Ceux sont également les deux seuls itinéraires qui ont été choisis par l'ensemble des participants de l'expérimentation. Nous présentons donc uniquement ces deux itinéraires :

(1) La première alternative consiste à prendre la ligne 2 en direction de Porte Dauphine, de changer de ligne à Place de Clichy puis de prendre la 13 en direction de Chatillon jusqu'à la station St Lazare.

(2) La seconde alternative consistait également à prendre la ligne 2 en direction de Porte Dauphine, la correspondance ne se faisait pas à Place de Clichy mais deux arrêts plus tard à Villiers, station faisant la correspondance avec la ligne 3, ligne qu'il fallait alors emprunter jusqu'à Havre-Caumartin. Cela prolongeait le trajet de trois stations mais permettait d'arriver plus proche de la destination et réduisait ainsi le temps de trajet à pied en extérieur.

Annexe 5. Grille d'observation détaillée – Partie empirique n°1

Natures	Définitions
Plan métro	Représente l'ensemble du réseau de métro de la RATP.
Plan ligne	Représente le plan de ligne et les correspondances de chacune des stations de la ligne.
Plan bus	comprend l'ensemble du réseau de bus de la RATP.
Itinéraire transport	Indique l'itinéraire à réaliser avec les transports en commun.
Itinéraire piéton	Indique l'itinéraire à parcourir à pieds.
Nom station	Nom de la station (ces panneaux se trouvent souvent à l'entrée de la station à l'extérieur ainsi que sur le quai).
Densité d'usagers	Densité faible ou élevée
Panneau liste ligne	comprend toutes les stations d'une ligne à partir de la station où l'on se trouve jusqu'au terminus de la ligne.
Plan quartier	Représentation sous forme de carte du quartier (plan de quartier dans les stations, sur smartphone avec Google Maps ou encore au format carte papier).
Fléchage ligne	indique la direction à suivre pour rejoindre la ligne de métro.
Fléchage sortie	indique la direction à suivre pour sortir d'une station de métro
Temps d'attente	Nombre de minute que la personne doit attendre avant l'arrivée/le départ de son moyen de transport.
Nom de rue	indique le nom de la rue et se trouvant au début, à la fin de la rue et aux intersections.
Numéro de rue	indique le numéro de porte dans la rue (côtés pair et impair).
Lieu connu	Lieu permettant à la personne de se repérer
Logo du métro	Logo du métro, se trouvant dans l'environnement extérieur urbain et indiquant la présence d'une bouche de métro.
Perturbation	Informations relatives à tous types d'accidents ou d'incidents sur le réseau

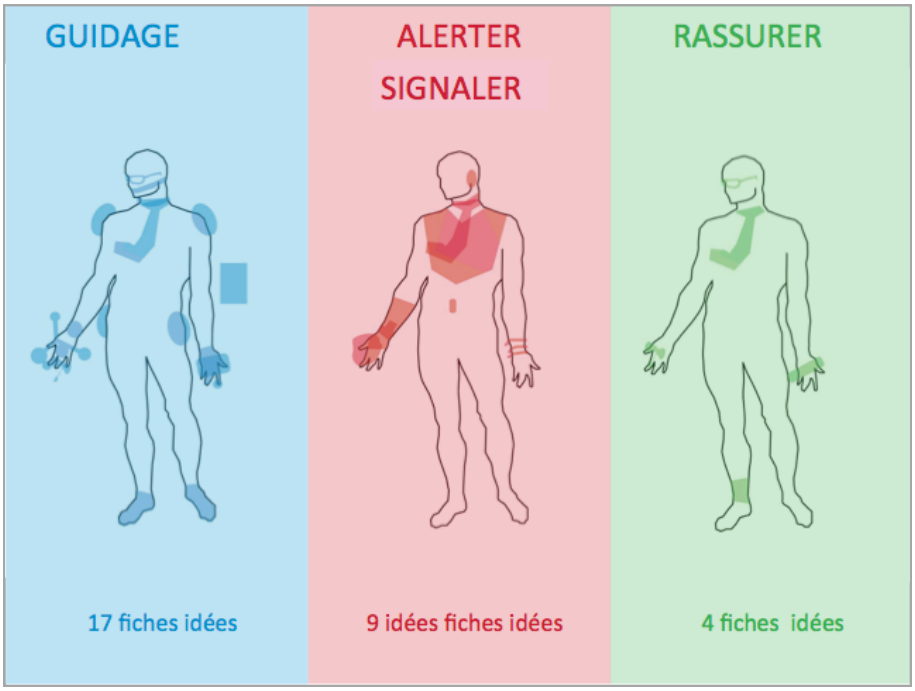
Tableau 39. Récapitulatif des natures des informations observées.

Annexe 6. Tableau récapitulatif du cahier des charges du prototype Tictact issue de l'analyse fonctionnelle

FONCTIONS	MODALITE SENSORIELLE
1. Guider	
1.1 Planifier - Replanifier - Définir le trajet - Fournir la feuille de route - Mettre à jour la planification	
1.2 Contrôler l'application de guidage - Démarrer le guidage - Mettre en pause - Redémarrer - Arrêter - Arrêter le dispositif à destination	
1.3 Donner les instructions de guidage - Orientation - Distance à parcourir - Nature des éléments à parcourir / Points de passage - Temps et distance restante à destination - Temps restant avant le prochain départ de son transport	
1.4 Informer l'utilisateur - Alerter d'un évènement de l'infrastructure - Alerter d'une indisponibilité de guidage - Alerter d'une information issue du réseau social - Signaler un POI - Donner les horaires de transport - Rassurer tout au long du trajet	
1.5 Définir un repère dans l'infrastructure/l'environnement	
1.5 Gérer les favoris - Supprimer un favori - Modifier un favori - Classer les favoris	
1.6 Paramétrer les préférences utilisateur - Le guidage	

- L'itinéraire - Les alertes	
2. Renseigner – Donner des informations	
- Donner des infos de localisation - Donner des infos touristiques et ludiques	
3. Paramétrer le système général	
- Profil utilisateur - Interface	
4. Fonctions de contraintes	
4.1 Etre portatif 4.2 Etre autonome en énergie 4.3 Etre utilisable tout public 4.4 Permettre de commenter 4.5 Superviser – Simuler le système 4.6 Allumer – Eteindre le dispositif 4.7 Etre attractif 4.8 Etre autonome 4.9 Etre capable de récupérer les informations 4.10 Gérer la batterie du système	

Annexe 7. Fiches idées représentant différents concepts de systèmes haptiques



Récapitulatif du nombre de fiches idées produites durant les deux séances de créativité pour chacune des fonctions ainsi que des diverses localisations sur le corps des concepts créés.

Annexe 8. Résultats de l'évaluation des idées de concepts

Résultats de l'évaluation experte pour les concepts correspondant à la fonction GUIDER :

Concepts	Efficacité	Relation sémantique	Charge de travail	Affect	Acceptabilité	Esthétisme	Note
Epaulettes	1	1	1	0	-1	-1	1
Boussole tri-dim	1	1	0	1	0	1	4
Montre vibrante	-1	1	-1	-1	1	1	0

Patch-chaussures	1	1	1	-1	-1	-1	0
Matrice stimuli	-1	1	1	0	1	1	3
Matrice de picots	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
Plateforme	1	1	1	1	1	0	5
Gant-Mitaine	-1	1	-1	-1	-1	-1	-4
Porte-Clés	1	-1	-1	1	1	1	2
Bracelet	1	1	-1	1	1	1	4
Lunette vibrante	1	1	1	-1	-1	-1	0
Lunette RA	1	1	-1	0	-1	-1	-1
Dé à coudre	-1	1	-1	-1	-1	-1	-4
Collier	1	1	1	-1	-1	-1	0
Cravate	1	1	-1	-1	-1	-1	-2
Toutou-guide	-1	1	1	1	0	0	2
iHorse	0	1	1	-1	-1	-1	-1

Tableau récapitulatif des scores attribués à chaque concept en fonction des six critères d'évaluation pour la fonction GUIDER.

Résultats de l'évaluation experte pour les concepts correspondant aux fonctions ALERTER et SIGNALER :

Concepts	Efficacité	Relation sémantique	Charge de travail	Affect	Acceptabilité	Esthétisme	Note
The Wire	0	1	1	-1	-1	-1	-1
Sense Watch	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
Boule polymorphe	1	1	0	1	0	0	3
Matrice de picots	0	0	0	0	0	0	0
Matrice de stimuli	1	-1	-1	0	1	1	1
Bracelet	1	0	1	1	1	1	5
Porte-Clés	0	0	-1	1	1	1	2
Cravate	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
Oreillette	-1	-1	-1	-1	-1	1	-4

Tableau récapitulatif des scores attribués à chaque concept en fonction des six critères d'évaluation pour les fonctions ALERTER et SIGNALER.

Résultats de l'évaluation experte pour les concepts correspondant à la fonction RASSURER :

Concepts	Efficacité	Relation sémantique	Charge de travail	Affect	Acceptabilité	Esthétisme	Note
Massage cheville	1	1	1	0	0	0	3
The Cylinder	1	1	1	1	0	0	4
Porte-clés	1	-1	1	1	0	0	2
Matrice-stimuli	1	1	0	1	1	0	4

Tableau récapitulatif des scores attribués à chaque concept en fonction des six critères d'évaluation pour la fonction RASSURER.

Annexe 9. B.1. Génération de métaphores

1) Explication de ce qu'est une métaphore / une analogie

Métaphore *: figure qui consiste à désigner un objet ou une idée par un mot qui convient pour un autre objet ou une autre idée liés aux précédents par une analogie. La métaphore fusionne donc en un seul les deux termes de la comparaison ; il s'agit d'une comparaison sans terme comparatif (ainsi que, comme, ressembler à, semblable à, tel que, etc.), d'une comparaison implicite.*

Analogie *: instaure un rapport de similitude entre deux éléments. Un raisonnement par analogie (ou « raisonnement analogique ») conclut d'une ressemblance connue entre deux choses à une ressemblance encore inconnue. Il s'agit de tirer des conclusions nouvelles en s'appuyant sur des ressemblances entre deux choses.*

2) Entraînement

Vous devez associer aux messages suivants une métaphore en lien avec la perception d'un idée/objet. Vous devez dire la métaphore qui vous vient rapidement en tête.

Exemple: Si je vous donne le message suivant : « se sentir bien » quelle métaphore pourriez-vous trouver ? (Bain bulle, vague, ...)

- Se dépêcher (ex. pas qui court)
- Ressentir de l'affection pour quelqu'un (ex. cœur qui bat lentement)
- Avoir peur (ex. cœur qui bat la chamade)
- Attention danger (ex. décharge électrique)
- Rechercher quelque chose (ex. sonar)

Annexe 10. B.2. Sélection des métaphores

2. Tableau récapitulatif des métaphores associées à chacun des messages du dispositif de l'expérimentation B.1 utilisé pour le questionnaire en ligne de l'expérimentation B.2.

Consigne : choisir 1 ou 2 métaphores que vous associeriez le plus facilement à chacun des messages donnés par un dispositif d'assistance au déplacement dans les transports en commun d'un usager (il y a 7 messages). Si vous ne trouvez pas deux métaphores qui conviennent, vous pouvez n'en cocher qu'une ou même en proposer une nouvelle.

Age ..... Sexe ..... Profession .....

Messages	Métaphores	X
Rassurer l'utilisateur en lui disant qu'il est toujours sur la bonne route.	- Un chat qui ronronne	
	- Battement de cœur	
	- Bain bulle	
	- Chant d'oiseau	
	- Roue lente	
	- Caresse / câlin	
	- Un bonhomme qui danse (Yeahhh !)	
	- Un massage	
	- Gradation qui avance / Barre de chargement	
	- Sensation de glisser/rouler (toboggan, boule de bowling, autoroute)	
	- Une musique douce / d'ambiance	
Alerter l'utilisateur qu'il n'est plus sur la bonne route.	- Wizz de msn (secousse)	
	- Mur qui bloque / impasse/ barrière	
	- Se prendre une baffe	
	- Warning	
	- Marcher sur des charbons ardents	
	- Quelqu'un qui fait signe de revenir / Demi-tour	
	- Une musique moqueuse	
	- Une gentille fée	
	- Un chef de gare	
	- Quelqu'un qui te fait signe que non	
	- Un frein	
	- Un gros klaxon	
	- Une décharge	
	- Une boussole	
Alerter l'utilisateur pour lui signaler qu'il doit monter ou descendre de son véhicule (métro/bus)	- Réveil – Minuterie four	
	- Quelqu'un qui tape sur l'épaule/ Hého !	
	- Ding – Dong/Cloche/ Petite sonnette / Arrivée ascenseur	
	- Point qui clignote	
	- T'es dans une chaise longue et tu dois te lever	
	- Gong de la boule (fort boyard)	
	- Sablier qui vient de finir	
Alerter l'utilisateur d'un incident / accident réseau (peut-être plus ou moins grave) impliquant un retard de son trajet ou bien même une replanification de	- Sirène de pompier / Gyrophare	
	- Signal de bouclage de ceinture de l'avion (= turbulence)	
	- Quelqu'un qui te secoue / Un frisson / Un sursaut	
	- Barrière qui bloque	
	- Un crash / Quelque chose qui se casse	
	- Quelque chose qui tourne en rond (boucle d'attente windows)	
	- Un bout de papier qu'on froisse	

l'itinéraire. Ex. accident voyageur, alerte à la bombe	- Buzzer indiquant le fait d'avoir perdu	
	- Un caillou / un rocher qu'il faut contourner	
	- Un grand coup de frein	
Alerter l'utilisateur de l'indisponibilité d'un ou plusieurs équipement(s) du réseau sur son trajet (ex. panne ascenseur, escalator) en situation de mobilité réduite (ex. poussette, port de charge, béquille)	- Warning	
	- Point d'exclamation	
	- Quelqu'un qui te retient/quelque chose qui ne bouge plus	
	- Sable mouvant	
	- Bruit de quelque chose que l'on casse	
	- Des marches d'escaliers / Une musique qui monte / Altitude / raide	
	- Avoir du poids sur les épaules	
	- Un bruit de quelque chose qui bugg	
	- Des roues qui deviennent carrées	
	- Effort physique / Battement de cœur qui s'accélère	
Alerter l'utilisateur de la proximité point d'intérêt (ex. magasin, monument, restaurant, musicien RATP) choisi par l'utilisateur.	- Musique sympa	
	- Clochette	
	- Cœur / Battement de cœur	
	- Marmotte qui sort de son trou	
	- Ampoule qui scintille	
	- Avoir une surprise	
	- Une caresse	
	- Un arc-en-ciel	
	- Un massage	
	- Un ballon qui s'envole	
	- Une vague	
	- Le bingo	
	- Picsou qui voit les dollars	
	- Une légère brise dans un champ de lavande	
	- Détecteur de métaux	
	- Toc-toc / tape sur l'épaule	
	- Une grande flèche qui t'indique où aller	
	- Un aimant	
	- Un radar	
Alerter l'utilisateur qu'il y a une information culturelle / ludique relative au point où il se trouve.	- Etoile filante	
	- Une clochette	
	- Tour sur soi-même	
	- Ampoule qui s'allume	
	- Musique classique	
	- Chatouille	
	- Un oiseau qui piaille	
	- Ouvrir un livre / un guide	
	- La chanson de l'été	
	- Pichinette	
	- Un petit point d'interrogation / Une musique courte qui grimpe	
	- Un toc-toc	
	- Un flash d'appareil photo	
	- Une bulle qui explose	

Annexe 11. B.5. Classification des motifs vibratoires en fonction des catégories

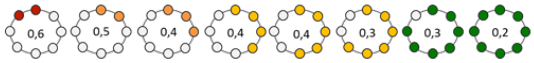
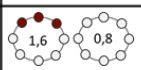
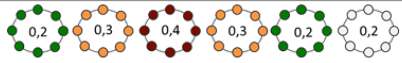
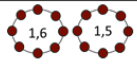
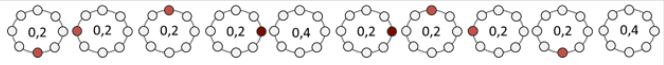
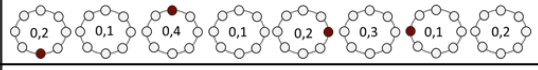
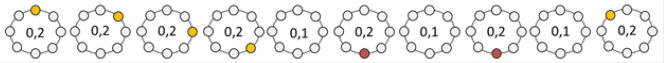
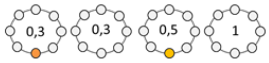
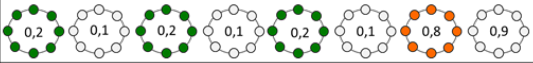
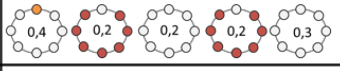
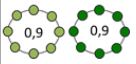
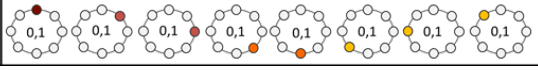
Motif	Nombre trames	Nombre répétition motif	Durée totale motif (sec)	Actionneurs impliqués dans chaque trame, durée de chaque trame, localisation et amplitude de chaque actionneur
Gong	8	X 1	3,1	
Hého	3	X 1	2,1	
Alarm	2	X n	2,4 x n	
Knock	5	X 1	0,8	
Buzz	1	X 1	1	
Siren	6	X n	16 x n	
Bug	2	X 1	3,2	
Wheel	7	X 1	5,3	
Warning	2	X n	0,6 x n	
No	3	X 1	0,9	
Fairy	5	X 2	1	
Turn	10	X n	2,4 x n	
Music	8	X n	1,6 x n	
Radar	10	X n	1,7 x n	
Heart	4	X n	2,1 x n	
Beethov	8	X 2	5,2	
Valse	5	X n	1,3 x n	
Flash	1	X 1	0,2	
Purring	2	X n	1,8 x n	
Rock you	6	X 2	3,8	
Sliding	8	X 3	2,4	

Figure 62. Caractéristiques spécifiques des 21 motifs vibratoires du bracelet Tictact

Annexe 12. Capture d'écran de l'application Tictact – Partie empirique n°3

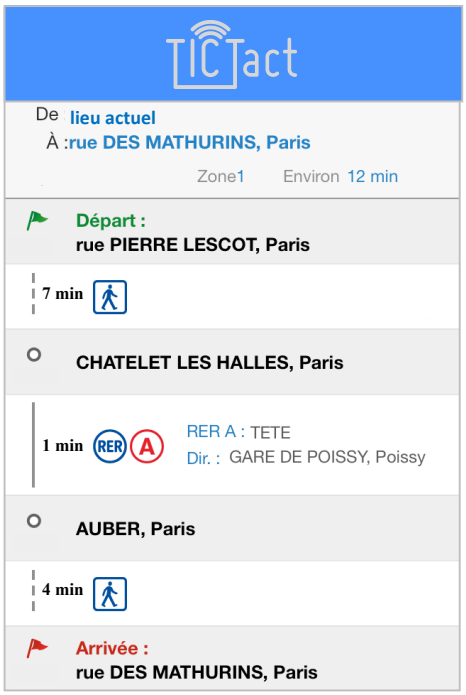


Figure. Capture d'écran d'une des feuilles de route fournie à l'utilisateur pour la réalisation du trajet scénario (objectif de déplacement n°1).

Annexe 13. Questionnaire d'évaluation – Partie empirique n°3

Nom & Prénom : ……

Ce questionnaire permet d'évaluer l'outil d'aide au déplacement Tictact avec lequel vous avez réalisé le scénario demandé.

1. Apprentissage

1.1. Cela a-t-il été facile pour vous d'apprendre les différents messages vibratoires du bracelet ?

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

1.2. Cela a-t-il été facile pour vous d'apprendre les différentes directions envoyées par le Viflex ?

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

2. Réalisation du trajet

2.1. Les informations données par le sens du toucher sont-elles un moyen efficace pour apporter l'information nécessaire à la réalisation d'un déplacement ?

a) Avec le viflex

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

b) Avec le bracelet

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

2.2. Cela vous a–t-il paru facile de reconnaitre les différents motifs ?

a) Avec le viflex

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

b) Avec le bracelet

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

2.3. Selon vous, quels seraient les intérets de l'utilisation du sens du toucher pour assister le déplacement piéton urbain ?

3. Relation sémantique

3.1. Lors de votre activité de déplacement, a-t-il été facile de différencier les différents motifs haptiques ?

a) Avec le viflex

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

b) Avec le bracelet

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

3.2. En ce qui concerne le bracelet, êtes-vous satisfait de l'adéquation entre le motif vibratoire et le message avec lequel il est associé ?

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

3.3. Classer par ordre de préférence les différents messages (plusieurs peuvent être à égalité) :

……

……

4. Charge mentale

4.1. Se déplacer avec le viflex

Selon vous, l'utilisation du viflex pendant la réalisation du trajet a impliqué une charge mentale faible ?

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

4.2. Se déplacer avec le bracelet

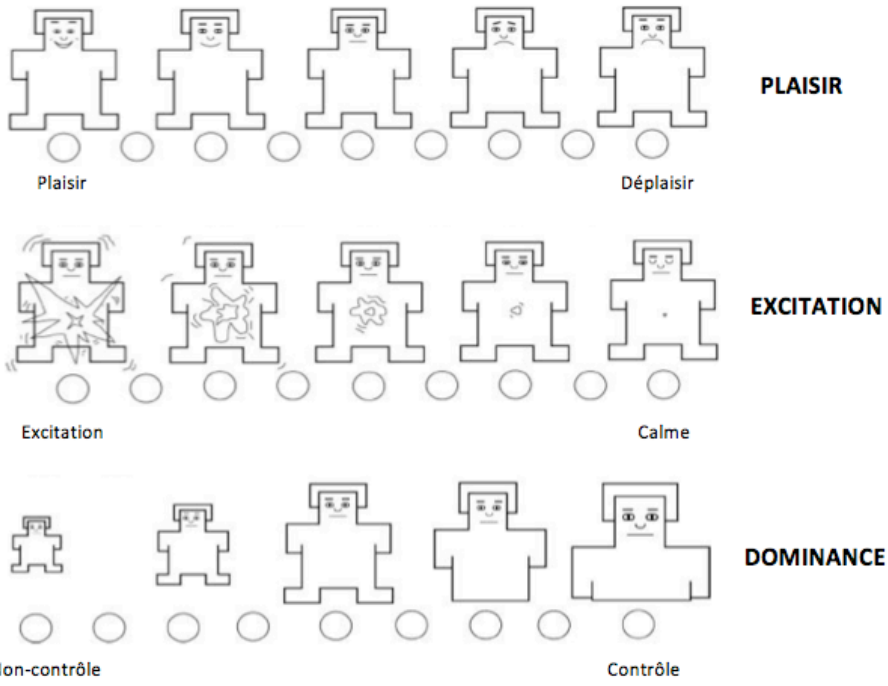
Selon vous, l'utilisation du bracelet vibrant pendant la réalisation du trajet a impliqué une charge mentale faible ?

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

5. Affect

Cette échelle est composée de 3 dimensions émotionnelles : le degré de plaisir, le degré d'excitation, et la notion de dominance. Pour chacune d'elles, vous devez colorier le cercle qui correspond au mieux, à l'état global que vous avez ressenti lors de l'interaction que vous avez eu avec le prototype. Autrement dit, vous devez choisir parmi les 9 degrés émotionnels différents celui qui correspond le mieux à votre état émotionnel pendant le déplacement pour chacune des 3 dimensions.



6. Acceptabilité

6.1. Si ce type de dispositif est commercialisé (amélioration du design et de la géolocalisation) l'utiliseriez-vous pour vous déplacer sur des itinéraires que vous ne connaissez peu ou pas ?

0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○

Pas du tout Tout à fait

6. 2. Quelles sont les améliorations / évolutions principales que vous souhaiteriez pour le prototype ?

Annexe 14. Evaluation subjective du prototype

Questionnaire d'évaluation de l'interaction haptique

Un questionnaire, non validé, a été élaboré afin d'obtenir une évaluation subjective de l'interaction pour le groupe PROTOTYPE haptique lors de la réalisation de l'activité de déplacement. Ce questionnaire, visait à évaluer différents critères : facilité d'apprentissage, efficacité de l'interaction, relation sémantique entre le message fonctionnel et l'interaction, la charge de travail, l'émotion ressentie (test SAM) et le niveau d'acceptabilité. Le groupe SANS PROTOTYPE était dispensé de cette étape.

Les questionnaires ont été donnés à chacun des participants du groupe PROTOTYPE au format papier. Les données chiffrées issues des échelles de Likert ont été rassemblées dans un fichier Excel afin d'être analysées. Les données issues du questionnaire ont pu être utilisées pour les vingt participants du groupe avec HPT.

Résultats

Un questionnaire présenté aux participants du groupe AVEC PROTOTYPE a permis de recueillir des premières informations sur la façon dont les utilisateurs ont vécu leur première expérimentation du prototype Tictact d'aide au déplacement.

Dans ce questionnaire on va faire évaluer plusieurs points du dispositif (bracelet et viflex) à l'aide d'une échelle de Likert.

- Le premier point abordé est la facilité ou non d'apprentissage avec le dispositif haptique. L'apprentissage des messages vibratoires est jugé plutôt aisé d'un point de vue global et obtient une note moyenne de 4,5/7 pour le bracelet et de 6,1 avec le viflex.

- Le second point abordé est l'efficacité perçue par le participant pour la réalisation de son activité à travers l'utilisation du bracelet et du viflex.

- Le troisième point est reconnaissance des motifs ainsi que la différenciation des différents messages.

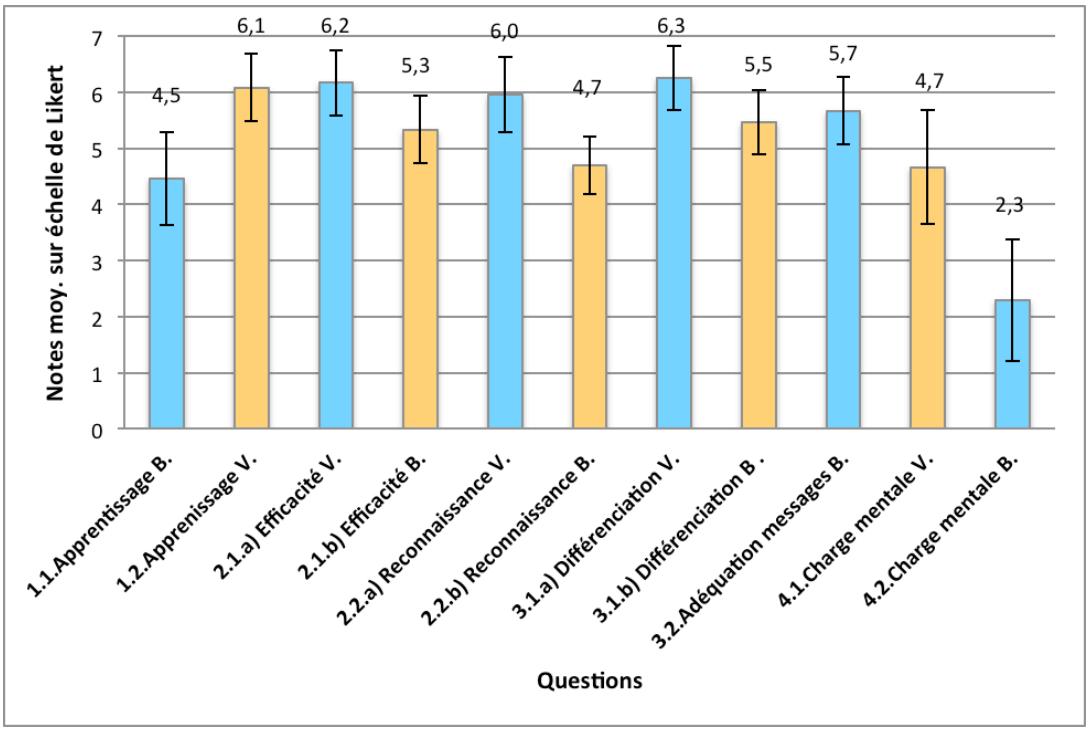


Figure 63. Notes moyennes données par les participants du groupe PROTOTYPE au questionnaire d'évaluation du prototype.

Le quatrième point est la charge mentale, elle est focalisée sur l'implication précise du bracelet et du viflex au cours du déplacement et non sur la réalisation du trajet; de même pour les participants n'ayant pas disposé de dispositif autres que les applications classiques et Google maps, le questionnaire de la charge de travail porte sur l'usage de ces applications et non sur la charge liée à la réalisation du scénario. De ce fait la comparaison de la charge n'est pas vraiment possible entre les deux groupes de participants. En contrepartie, cet indicateur confirme que la charge de travail associée à l'usage du Viflex est très faible pour l'ensemble des participants à l'exception de zones complexes de type carrefour qui peuvent poser problèmes à certain ainsi qu'au participant qui a tendance à inverser les consignes fournies par le Viflex. En revanche la charge de travail associée à l'usage du Bracelet semble d'une part globalement plus élevée que pour le Viflex, mais de surcroit se révèle beaucoup plus hétérogène. Les participants qui éprouvent des difficultés à utiliser l'interaction tactile affectent des indices de charge élevée à l'usage du dispositif, contrairement à ceux pour lequel son usage est beaucoup plus immédiat.

- Le cinquième point est la question de l'acceptabilité : 22/24 personnes déclare que le prototype est accepté et serait d'accord pour l'acheter.

Verbalisations des participants sur l'apport de la modalité haptique	**NB**
Permet de profiter pleinement de l'environnement et du trajet – prendre le temps d'observer différemment l'environnement - Possibilité d'apprécier son trajet sans se soucier de la direction	7
Efficace et discret	6
Permet de regarder autour de soi et ne pas avoir la tête collée dans un plan – plus besoin de regarder la carte toutes les 30 secondes	5
Plus besoin de sortir son téléphone	4
Découvrir un trajet inconnu	2
Gain de temps	2
Libérer le sens de la vision	2
Permet de suivre une conversation plus facilement tout en continuant à chercher son chemin – Réduction de la charge cognitive	2
Se laisser guider sans stress	1
Utile pour les gens n'ayant pas le sens de l'orientation	1
Permet de percevoir son trajet tout de suite sans avoir besoin de sortir son téléphone	1
Autonomie	1
Déplacement plus naturel	1
Peu de risque de mauvaise interprétation	1
Utilisable par tous	1

Résumé

Qu'ils soient voyageurs occasionnels ou réguliers, les piétons se déplaçant en environnement urbain et en transport en commun ont à faire face à la complexité du réseau de transport des grandes villes. Les aides au déplacement sont nombreuses et variées. Elles peuvent être fixes (par exemple, panneaux de signalisation) ou mobiles (par exemple, applications sur smartphone). Ces aides utilisent principalement la modalité sensorielle visuelle, déjà fortement sollicitée lors d'un déplacement urbain. Une alternative intéressante serait d'utiliser l'haptique (sens du toucher). En effet, cette modalité permet de transmettre au porteur d'un dispositif haptique des informations de déplacement et de navigation, en attirant discrètement son attention par des messages délivrés tactilement.

S'inscrivant dans une démarche d'ergonomie prospective, cette thèse vise à étudier l'apport de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement piéton urbain. L'objectif appliqué est la conception d'un dispositif haptique d'aide au déplacement innovant, efficace et accepté par les utilisateurs futurs. Ce projet de conception s'est déroulé dans le cadre du projet ANR Tictact, mené par le CEA-LIST de 2011 à 2014. L'utilisation de la modalité haptique étant posée comme un parti pris initial, l'objectif du projet était de déterminer la forme que devrait prendre l'assistance aux usagers et la technologie de l'outil d'aide.

Pour répondre à ce défi, nous avons mis en œuvre trois études successives. La première visait à comprendre les activités cognitives élémentaires mobilisées pour consulter les supports d'informations nécessaires à la navigation piétonne. Pour cela, nous avons analysé le comportement d'un piéton effectuant un trajet urbain (en métro et à pied). Les résultats nous ont permis de spécifier les fonctions d'aide que devrait remplir un futur dispositif d'aide au déplacement. Complétées par une revue de la littérature sur les interfaces haptiques et leur utilisation pour l'aide au déplacement, ces résultats nous ont conduits à déterminer les fonctions éligibles à la modalité haptique.

La seconde étude visait à concevoir l'interaction haptique avec le dispositif d'aide, en deux étapes : élaborer le concept d'interface et concevoir le langage d'interaction. Une démarche de conception participative a été mise en œuvre, étayée par l'utilisation d'un prototype et de méthodes créatives. Cette démarche a abouti à : (i) identifier un message informationnel approprié à chaque fonction de déplacement ; (ii) traduire ce message (par analogie) en *métaphore ;* (iii) transformer chaque métaphore en motifs vibratoires délivrés par un bracelet haptique.

La troisième étude visait à évaluer le dispositif haptique (bracelet couplé à un Smartphone) en environnement réel. Une analyse d'activité de déplacement urbain a été menée, comparant un groupe disposant de notre prototype haptique d'aide à un groupe sans prototype. Les résultats confirment la potentialité de la modalité haptique pour améliorer les performances de déplacement et notamment une allure de déplacement plus fluide et une diminution du temps de consultation d'un support d'information. Notre étude ouvre des perspectives pour l'utilisation de la modalité haptique dans diverses interfaces mobiles (par exemple une smartwatch).

Mots clés : déplacement piéton, navigation urbaine, interaction haptique, bracelet haptique, métaphore, activité instrumentée, ergonomie prospective, conception participative.

Abstract

Whether they are occasional or regular travellers, the pedestrians travelling in an urban environment and using public transportation have to face the complexity of the transportation network of large cities. The travelling aids are numerous and varied. They can be stationary or mobile (for example, applications on smartphones). These aids rely mainly on the visual sensory modality, already heavily requested during urban travel. An interesting alternative would be to use haptics (sense of touch). Indeed, this modality enables to convey travel and navigational information to the owner of a haptic device, by drawing discreetly his attention with tactile messages.

Joining an approach of prospective ergonomics, this thesis aims to study the contribution of the haptic modality as a support for the activity of urban pedestrian travel. The applied objective is the design of a haptic device as an innovative travel aid, effective and accepted by the future users. This design project took place within the framework of the ANR project Tictact, led by the CEA-LIST from 2011 till 2014. The use of the haptic modality being put as an initial bias, the objective of the project was to determine the form that the assistance and the technology of the travel aid should take.

To tackle this challenge, we conducted three successive studies. The first one, aimed at understanding the elementary cognitive activities mobilized when consulting information necessary to the pedestrian navigation. For that purpose, we analysed the behaviour of a pedestrian undertaking an urban travel (in the subway and on foot). The results allowed us to specify the functions that a future device assisting in the travel should include. Completed by a review of the literature on haptic interfaces and their use for assisting travel, these results led us to determine the eligible functions of the haptic modality.

The second study aimed at designing the haptic interaction with the haptic interface, in two stages: first develop the concept of the interface and second design the interaction language. An approach of participative design was implemented, supported by the use of a device prototype and creative methods. This approach succeeded in: i) identifying an informative message suitable for each function of the travel; ii) translating this message (using an analogy) into a metaphor; and iii) transforming every metaphor into vibrotactile patterns delivered by a haptic wristband.

The third study aimed at evaluating the haptic device (a wristband coupled with a Smartphone) in a real environment. An analysis of the activity of urban travel was conducted, comparing a group having a prototype of our haptic assistant to a group without such prototype. The results confirm the potentiality of the haptic modality to improve the travel performance in particular to enable a more fluid speed of travel and a decrease in the consultation time of an information medium. Our study opens up perspectives for the use of the haptic modality in diverse mobile interfaces (for example a smartwatch).

Keywords: pedestrian travel, urban navigation, haptic interaction, haptic bracelet, metaphor, instrumented activity, prospective ergonomics, participative design.