



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par *l'Université Toulouse III - Paul Sabatier*
Discipline ou spécialité : *Informatique - Interaction Homme-Machine*

Présentée et soutenue par *Guillaume LEPICARD*
Le 2 mai 2011

Titre :

Interaction tactile chez les personnes âgées

JURY

Jean CAELEN (Examineur)
Philippe PALANQUE (Directeur)
Hélène PIGOT (Rapporteur)
Franck TARPIN-BERNARD (Rapporteur)
Nadine VIGOUROUX (Co-Directeur)

Ecole doctorale : *ED-MITT*
Unité de recherche : *IRIT - UMR 5505*
Directeur(s) de Thèse : *Philippe PALANQUE, Nadine VIGOUROUX*
Rapporteurs : *Hélène PIGOT, Franck TARPIN-BERNARD*

Table des matières

CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	13
A. Introduction	15
B. L'âge et les déficiences liées	19
1) Les sens.....	19
a) La vision.....	19
b) L'audition.....	23
c) Le toucher	26
2) La motricité.....	27
3) Les facultés cognitives.....	29
a) Les systèmes de mémoire.....	29
b) L'intelligence	31
c) Les facteurs du vieillissement cognitif	33
d) Les facteurs de variabilité du vieillissement cognitif	34
C. L'écran tactile	35
1) L'écran tactile et son histoire	35
2) Le fonctionnement des technologies tactiles	39
a) La technologie capacitive.....	40
b) La technologie résistive.....	41
c) La technologie à ondes de surface.....	42
d) La technologie à jauges de contrainte	43
e) La technologie infrarouge	44
3) Les caractéristiques d'un écran tactile	48
4) Comment choisir sa surface ou son écran tactile	51
a) Guide d'aide au choix d'un écran tactile.....	52
b) Cas d'étude : le choix de notre solution tactile	53
D. Les systèmes de gérontechnologies basés sur le tactile	54
CHAPITRE 2 : L'OPTIMISATION SPATIALE DE L'INTERACTION CHEZ LES PERSONNES AGEES	59
A. L'existant.....	61
B. La plateforme EPTE	63
1) Le design et le fonctionnement général de la plateforme.....	63
2) Les paramètres réglables de la plateforme	65
3) La conception du design des cibles.....	66

4)	Les chemins	67
5)	La gestion des événements	68
a)	Les traces	68
b)	Les paramètres dépendants exploités	68
6)	Équipements	71
C.	Test sur la bimanualité.....	72
1)	L'existant	72
2)	Protocole.....	73
a)	Participants.....	73
b)	Réglages des paramètres fixes de l'expérimentation.....	73
c)	Variables indépendantes.....	74
d)	Variables dépendantes.....	75
e)	Procédures.....	75
3)	Résultats.....	77
a)	Résultats qualitatifs	77
b)	Résultats quantitatifs	83
4)	Discussions	114
a)	La fatigue	114
b)	La perception des couleurs.....	115
c)	La disposition des cibles	115
d)	L'utilisation des mains	116
e)	Les préférences	116
f)	Les erreurs.....	117
5)	Conclusions.....	117
D.	Test sur la mémorisation au travers d'un procédé d'apprentissage	119
1)	L'existant	119
2)	Protocole.....	119
a)	Participants.....	119
b)	Réglages des paramètres fixes de l'expérimentation.....	120
c)	Variables indépendantes.....	121
d)	Variables dépendantes.....	122
e)	Procédures.....	122
3)	Résultats.....	124
a)	Résultats qualitatifs	124
b)	Résultats quantitatifs	130
4)	Discussions	148
a)	La fatigue	149
b)	La mémorisation	149
c)	Les préférences	150

d) Les erreurs.....	150
5) Conclusions.....	151

CHAPITRE 3 : L'INTERACTION *MULTITOUCH* CHEZ LES PERSONNES AGEES..... 153

A. L'existant.....	155
B. La conception de la plateforme de test des interactions	157
1) L'objectif de la plateforme de test	157
2) La conception de l'objet à manipuler et de la consigne	159
a) La forme de l'objet à manipuler et celle de la consigne	159
b) La sélection des « designs » de manipulation directe à un doigt.....	160
c) La taille de l'objet à manipuler et celle de la consigne	161
d) Les valeurs prises par la consigne	162
e) La validation de la consigne.....	163
3) La gestion des événements	163
a) La gestion des événements pour la manipulation des objets	164
b) Les valeurs récupérées ou traces	165
c) Les valeurs exploitées	165
4) L'équipement de test.....	166
C. Le test de calibration de la précision.....	168
1) Le protocole du test.....	168
2) Les résultats	169
D. Le test du choix de l'interaction à 1 doigt de référence.....	171
1) Le protocole du test.....	171
2) Les participants.....	171
3) Les résultats qualitatifs	172
4) Les résultats quantitatifs	178
a) Le Temps de Réalisation d'une Consigne.....	178
b) Le Temps d'Analyse	180
c) Le Temps d'Approche.....	182
d) Le Temps de Stabilisation.....	183
e) Le Temps de Pré Mouvement	184
f) Les courbes d'approche.....	187
5) Discussions	190
E. Le test comparatif de manipulation 1 doigt versus 2 doigts.....	192
1) La gestion des événements tactiles	192
2) Le protocole du test.....	192
3) Les participants	193

4)	Les résultats qualitatifs	193
5)	Les résultats quantitatifs	201
a)	Le Temps Total de Réalisation d'une consigne	201
b)	Le Temps d'Analyse	203
c)	Le Temps d'Approche.....	205
d)	Le Temps de Stabilisation.....	206
e)	Le Temps de Pré Mouvement	207
f)	Les courbes d'approche.....	209
6)	Discussions	212
a)	La fatigue	212
b)	Le comportement lors de l'interaction	212
c)	Les préférences	214
d)	La mémorisation	215
F.	Conclusions	216
 CHAPITRE 4 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES		217
A.	Conclusion.....	219
B.	Perspectives.....	224
1)	Les perspectives générales.....	224
2)	Les perspectives spécifiques	225
a)	L'expérimentation sur la bi manualité	225
b)	L'expérimentation sur la mémorisation	226
c)	L'expérimentation sur le multitouch.....	226
 BIBLIOGRAPHIE.....		229
 ANNEXES		247

Table des Figures

<i>Figure 1 - Répartition de la population de l'Union Européenne des 27 en fonction de l'année</i>	15
<i>Figure 2 - Taux de dépendance économique des personnes âgées de l'Union Européenne des 27 en fonction de l'année</i>	16
<i>Figure 3 - Représentation de l'œil en vue de face et de profil tirée du site d'Essilor</i>	20
<i>Figure 4 - Représentation d'une DMLA par Essilor</i>	22
<i>Figure 5 - Représentation d'une cataracte par Essilor</i>	22
<i>Figure 6 - Représentation d'une rétinopathie diabétique par Essilor</i>	22
<i>Figure 7 - Représentation d'un glaucome par Essilor</i>	22
<i>Figure 8 - Schéma de l'oreille extrait de Wikipédia : 1) Pavillon 2) Conduit auditif externe 3) Tympan 4) Marteau 5) Enclume 6) Étrier 7) Trompe d'Eustache 8) Oreille interne 9) Cochlée 10) Nerf auditif</i>	24
<i>Figure 9 - Le mécanisme du clavier de l'orgue à touches sensibles</i>	36
<i>Figure 10 - Le terminal à écran tactile du PLATO IV</i>	36
<i>Figure 11 - Disposition des éléments constituant le Digital Desk</i>	38
<i>Figure 12 - Exemple de manipulation sur le Digital Desk</i>	38
<i>Figure 13 - L'interaction Flick sur le Portfolio Wall</i>	38
<i>Figure 14 - La surface interactive basée sur le SmartSkin</i>	38
<i>Figure 15 - Le Lemur de Jazzmutant</i>	39
<i>Figure 16 - L'iPhone 3 d'Apple</i>	39
<i>Figure 17 - La table Surface de Microsoft</i>	39
<i>Figure 18 - Le système N-Trig</i>	39
<i>Figure 19 - Représentation d'un écran capacitif par la société NextWindow</i>	41
<i>Figure 20 - Représentation d'un écran résistif par la société NextWindow</i>	42
<i>Figure 21 - Représentation d'un écran à ondes de surface par la société NextWindow</i>	43
<i>Figure 22 - Représentation d'un écran infrarouge par la société NextWindow</i>	44
<i>Figure 23 - Représentation d'un écran FTIR</i>	45
<i>Figure 24 - Représentation de la technologie à illumination diffuse</i>	46
<i>Figure 25 - Représentation d'un écran tactile à technologie optique par la société Tactyl-Services</i>	47
<i>Figure 26 - L'E-Sidor de la société ISIDOR</i>	55
<i>Figure 27 - L'ÉtiBox de la société EBL</i>	55
<i>Figure 28 - L'ordinateur Magui de la société SIMPLISTAY</i>	56
<i>Figure 29 - L'Ordimemo EEE TOP 1610 de la société DOSSIER SYSTEMES</i>	56
<i>Figure 30 - L'Ordissimo « Tout-en-un » de la société SUBSTANTIEL</i>	56
<i>Figure 31 - Interface de présentation des tests prédéfinis disponibles</i>	64
<i>Figure 32 - Interface de présentation des tests prédéfinis disponibles avec sélection du test "Position"</i>	64
<i>Figure 33 - Interface de la personnalisation d'un test avec un choix de disposition en un bloc, une taille de cible de 100 pixels, une non utilisation d'un masque, une représentation par couleur, 2 cibles et une consigne qui s'affiche 5 secondes</i>	64

<i>Figure 34 - Interface de la personnalisation d'un test avec un choix de disposition en un bloc, de taille de cibles de 125 pixels, une non utilisation d'un masque, une représentation par lettre, 8 cibles et une consigne qui s'affiche pendant 3 secondes</i>	64
<i>Figure 35 – Exemple de test de la plateforme EPTÉ</i>	65
<i>Figure 36 - Première représentation d'une cible de 100x100 pixels</i>	67
<i>Figure 37 - Représentation finale d'une cible de 100x100 pixels</i>	67
<i>Figure 38 - Les huit couleurs utilisées pour l'expérimentation</i>	73
<i>Figure 39 - Représentation de la configuration à 6 cibles et 1 bloc avec l'utilisation d'une main</i>	75
<i>Figure 40 - Représentation de la configuration à 6 cibles et 2 blocs avec l'utilisation de deux mains</i>	75
<i>Figure 41 - Arbre représentant les différentes configurations possibles de sous tests</i>	76
<i>Figure 42 - Préférence du nombre de mains à utiliser pour les personnes âgées</i>	78
<i>Figure 43 - Préférence du nombre de mains en fonction du nombre de blocs pour les personnes âgées</i>	78
<i>Figure 44 - Fatigue motrice en fonction du nombre de mains utilisées par les personnes âgées</i>	79
<i>Figure 45 - Fatigue visuelle en fonction du nombre de mains utilisées par les personnes âgées</i>	79
<i>Figure 46 - Fatigue motrice en fonction du numéro du test par les personnes âgées</i>	80
<i>Figure 47 - Fatigue visuelle en fonction du numéro du test par les personnes âgées</i>	80
<i>Figure 48 - Répartition des avis de bonne et mauvaise perception des couleurs pour les personnes âgées</i>	81
<i>Figure 49 - Répartition des problèmes de confusion des couleurs avec 1 main par les personnes âgées</i>	81
<i>Figure 50 - Répartition des problèmes de confusion des couleurs avec 2 mains par les personnes âgées</i>	82
<i>Figure 51 - Difficulté d'utilisation avec l'évolution du nombre de cibles pour les personnes âgées en fonction du nombre de mains</i>	82
<i>Figure 52 - Difficulté d'utilisation en fonction du nombre de cibles avec une main pour les personnes âgées</i>	83
<i>Figure 53 - Difficulté d'utilisation en fonction du nombre de cibles avec deux mains pour les personnes âgées</i>	83
<i>Figure 54 - TCT en secondes en fonction du nombre de mains et du nombre de blocs</i>	84
<i>Figure 55 - TCT en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population</i>	85
<i>Figure 56 - TCT en secondes en fonction du nombre de cibles et du type de la population</i>	86
<i>Figure 57 - TCT en secondes en fonction du nombre de cibles chez les personnes âgées</i>	87
<i>Figure 58 - TCT en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées</i>	88
<i>Figure 59 - TCT en secondes en fonction du nombre de mains et du nombre de blocs chez les personnes âgées</i>	89
<i>Figure 60 - TE en pourcentage en fonction du nombre de mains et du type de la population</i>	90
<i>Figure 61 – TE en pourcentage en fonction du nombre de cibles, du nombre de blocs et du type de la population</i>	91
<i>Figure 62 - TE en pourcentage en fonction du nombre de mains chez les personnes âgées</i>	92
<i>Figure 63 - TE en pourcentage en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées</i>	93
<i>Figure 64 - TE en pourcentage en fonction du nombre de cibles et du nombre de blocs chez les personnes âgées</i>	94
<i>Figure 65 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du nombre de mains pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc</i>	95
<i>Figure 66 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc</i>	96

<i>Figure 67 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc</i>	97
<i>Figure 68 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc</i>	98
<i>Figure 69 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position pour la configuration à 4 cibles et 2 blocs</i>	99
<i>Figure 70 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population pour la configuration à 4 cibles et 2 blocs</i>	100
<i>Figure 71 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 4 cibles et 2 blocs</i>	101
<i>Figure 72 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du nombre de mains pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc</i>	102
<i>Figure 73 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc</i>	103
<i>Figure 74 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc</i>	104
<i>Figure 75 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc</i>	105
<i>Figure 76 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains pour la configuration à 6 cibles et 2 blocs</i>	106
<i>Figure 77 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 6 cibles et 2 blocs</i>	107
<i>Figure 78 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 6 cibles et 2 blocs</i>	108
<i>Figure 79 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du nombre de mains pour la configuration à 8 cibles et 1 bloc</i>	109
<i>Figure 80 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 8 cibles et 1 bloc</i>	110
<i>Figure 81 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 8 cibles et 1 bloc</i>	111
<i>Figure 82 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs</i>	112
<i>Figure 83 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs</i>	113
<i>Figure 84 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs</i>	114
<i>Figure 85 - Interface du test d'apprentissage</i>	121
<i>Figure 86 - Synoptique de l'expérience de mémorisation pour les personnes âgées</i>	123
<i>Figure 87 - Pourcentage de réponses correctes pour le nommage des couleurs présentes ainsi que pour leur ordre d'apparition en fonction de la population</i>	125
<i>Figure 88 - Pourcentage de réponses correctes pour la population jeune pour le nommage et l'ordre d'apparition des couleurs en fonction de l'ordre de passage des séries après complétion de l'expérimentation</i>	126

<i>Figure 89 - Pourcentage de réponses correctes pour le nommage et l'ordre d'apparition des couleurs en fonction de la population après complétion de l'expérimentation</i>	126
<i>Figure 90 - Évolution de la préférence du type de masque suivant le nombre de cibles</i>	127
<i>Figure 91 - Évolution des préférences pour les jeunes adultes suivant le nombre de cibles</i>	127
<i>Figure 92 - Évolution des préférences pour les personnes âgées suivant le nombre de cibles</i>	128
<i>Figure 93 - Évolution de la fatigue visuelle pour les deux populations suivant le numéro du test</i>	128
<i>Figure 94 - Évolution de la fatigue motrice pour les deux populations suivant le numéro du test</i>	129
<i>Figure 95 - Évolution de la stratégie de mémorisation des cibles pour les jeunes adultes</i>	130
<i>Figure 96 - Évolution de la stratégie de mémorisation des cibles pour les personnes âgées</i>	130
<i>Figure 97 - TCT en secondes en fonction du nombre de cibles</i>	132
<i>Figure 98 - TCT en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population</i>	133
<i>Figure 99 - TE en pourcentage en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population</i>	134
<i>Figure 100 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 4 cibles</i>	135
<i>Figure 101 - PLC en pixels en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 4 cibles</i>	136
<i>Figure 102 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 6 cibles</i>	137
<i>Figure 103 - PLC en pixels en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 6 cibles</i>	138
<i>Figure 104 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 8 cibles</i>	139
<i>Figure 105 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et de l'étape d'apprentissage pour la configuration à 8 cibles</i>	140
<i>Figure 106 - PLC en pixels en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 8 cibles</i>	141
<i>Figure 107 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 4 cibles</i>	142
<i>Figure 108 - TLC en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 4 cibles</i>	143
<i>Figure 109 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 8 cibles</i>	144
<i>Figure 110 - TLC en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 6 cibles</i>	145
<i>Figure 111 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et de l'étape d'apprentissage pour la configuration à 6 cibles</i>	146
<i>Figure 112 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 8 cibles</i>	147
<i>Figure 113 - TLC en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 8 cibles</i>	148

<i>Figure 114 - Interface du test avec une consigne de rotation et l'interaction à base de grille</i>	157
<i>Figure 115 - Déroulement d'une expérimentation sur la plateforme de manipulation d'objet</i>	159
<i>Figure 116 - Etat 0 de l'interaction à base de sélection pour une consigne de rotation</i>	161
<i>Figure 117 - Etat 1 de l'interaction à base de sélection pour une consigne de rotation</i>	161
<i>Figure 118 - Représentation du problème rencontré avec le glisser/déposer par défaut</i>	164
<i>Figure 119 - Répartition des avis sur les actions considérées comme les plus faciles pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions</i>	172
<i>Figure 120 - Répartition des avis sur les actions considérées comme les plus dures pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions</i>	173
<i>Figure 121 - Répartition des avis sur les actions considérées comme les préférées pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions</i>	174
<i>Figure 122 - Choix de l'interaction considérée comme la plus facile pour chacune des deux populations adultes</i>	175
<i>Figure 123 - Choix de l'interaction considérée comme la plus dure pour chacune des deux populations adultes</i>	175
<i>Figure 124 - Choix de l'interaction considérée comme la préférée pour chacune des deux populations adultes</i>	175
<i>Figure 125 - Préférence de la représentation des actions pour chacune des deux populations adultes</i>	176
<i>Figure 126 - Nombre d'erreurs de mémorisation de la position des actions pour l'interaction à base de grille pour les deux populations</i>	176
<i>Figure 127 - Nombre d'erreurs de mémorisation de la position des actions pour l'interaction à base de sélection pour les deux populations</i>	176
<i>Figure 128 - Dénomination de l'action de déplacer par chacune des deux populations adultes</i>	177
<i>Figure 129 - Dénomination de l'action de zoomer par chacune des deux populations adultes</i>	177
<i>Figure 130 - Dénomination de l'action de tourner par chacune des deux populations adultes</i>	177
<i>Figure 131 - Avis sur le maintien de l'affichage des lettres pour chacune des deux populations adultes</i>	178
<i>Figure 132 - Avis sur le maintien de l'affichage de la grille pour chacune des deux populations adultes</i>	178
<i>Figure 133 - Avis sur l'emploi d'un découpage en 3 zones ou en 9 zones pour l'interaction avec la grille</i>	178
<i>Figure 134 - TRC en secondes en fonction du type d'action et de la population</i>	179
<i>Figure 135 - TRC en secondes en fonction de l'interaction</i>	180
<i>Figure 136 - TAn en secondes en fonction de l'interaction et de la population</i>	181
<i>Figure 137 - TAn en secondes en fonction du type d'action et de la population</i>	182
<i>Figure 138 - TAp en secondes en fonction du type d'action, de l'interaction et de la population</i>	183
<i>Figure 139 - TS en secondes en fonction du type d'action et de la population</i>	184
<i>Figure 140 - TPM en secondes en fonction de l'interaction et de la population</i>	185
<i>Figure 141 - TPM en secondes en fonction du type d'action et de la population</i>	186
<i>Figure 142 - TPM en secondes en fonction du type d'action et de l'interaction</i>	187
<i>Figure 143 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de déplacer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	188

<i>Figure 144 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de tourner pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	189
<i>Figure 145 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de zoomer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	189
<i>Figure 146 – Répartition des actions considérées comme les plus faciles pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions</i>	194
<i>Figure 147 - Répartition des actions considérées comme les plus dures pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions</i>	195
<i>Figure 148 - Répartition des actions considérées comme les préférées pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions</i>	195
<i>Figure 149 - Choix de l'interaction considérée comme la plus facile pour chacune des deux populations adultes</i>	196
<i>Figure 150 - Choix de l'interaction considérée comme la plus dure pour chacune des deux populations adultes</i>	196
<i>Figure 151 - Choix de l'interaction considérée comme la préférée pour chacune des deux populations adultes</i>	196
<i>Figure 152 - Nombre de personnes ayant perçu de la fatigue visuelle et motrice pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	197
<i>Figure 153 - Préférence de la représentation des actions pour chacune des deux populations adultes</i>	198
<i>Figure 154 - Nombre d'erreurs de mémorisation de la position des actions pour l'interaction à base de grille pour les deux populations</i>	198
<i>Figure 155 - Dénomination de l'action de déplacer par chacune des deux populations adultes</i>	199
<i>Figure 156 - Dénomination de l'action de zoomer par chacune des deux populations adultes</i>	199
<i>Figure 157 - Dénomination de l'action de tourner par chacune des deux populations adultes</i>	199
<i>Figure 158 - Doigts utilisés pour l'action de déplacer avec l'interaction multitouch pour chacune des deux populations adultes</i>	200
<i>Figure 159 - Doigts utilisés pour l'action de zoomer avec l'interaction multitouch pour chacune des deux populations adultes</i>	200
<i>Figure 160 - Doigts utilisés pour l'action de tourner avec l'interaction multitouch pour chacune des deux populations adultes</i>	200
<i>Figure 161 - Avis sur le maintien de l'affichage des lettres pour chacune des deux populations adultes</i>	201
<i>Figure 162 - Avis sur le maintien de l'affichage de la grille pour chacune des deux populations adultes</i>	201
<i>Figure 163 - Avis sur la préférence de l'interaction multitouch si des modifications sont apportées à celle-ci pour chacune des deux populations adultes</i>	201
<i>Figure 164 - TRC en secondes en fonction du type d'action et du type de population</i>	202
<i>Figure 165 - TRC en secondes en fonction du type d'interaction et du type de population</i>	203
<i>Figure 166 - TAn en secondes en fonction de l'interaction et du type de population</i>	204
<i>Figure 167 - TAn en secondes en fonction du type d'action et de la population</i>	205
<i>Figure 168 - TAp en secondes en fonction du type d'action, de l'interaction et de la population</i>	206
<i>Figure 169 - TS en secondes en fonction du type d'action, de l'interaction et de la population</i>	207

<i>Figure 170 - TPM en secondes en fonction de l'interaction et de la population</i>	208
<i>Figure 171 - TPM en secondes en fonction du type d'action et de la population</i>	209
<i>Figure 172 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de déplacer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	210
<i>Figure 173 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de tourner pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	211
<i>Figure 174 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de zoomer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions</i>	211

Table des tableaux

<i>Tableau 1 - Comparatif des écrans tactiles appartenant aux familles des téléphones et des tablettes</i>	50
<i>Tableau 2 - Comparatif des écrans tactiles appartenant aux familles d'ordinateur de bureau et de table interactive</i>	51
<i>Tableau 3 - Les fonctionnalités des différentes solutions tactiles pour les personnes âgées</i>	57
<i>Tableau 4 - Récapitulatif du nombre de consignes en fonction du nombre de cibles et du nombre de répétitions de chacune d'elle</i>	68
<i>Tableau 5 - Valeurs des différentes consignes en fonction de l'action à effectuer et de l'étape du test</i>	162
<i>Tableau 6 - Marges de validation pour chaque action</i>	168
<i>Tableau 7 - Taux d'erreurs suivant l'action à réaliser et la valeur de la marge de validation</i>	169
<i>Tableau 8 – Moyenne et déviation absolue de la moyenne de la médiane du temps de réalisation suivant l'action et la valeur de la marge de validation</i>	170
<i>Tableau 9 - Recommandations pour l'utilisation du tactile par les personnes âgées</i>	223

Chapitre 1 :

Contexte et problématique

A. Introduction

D'après le rapport de Giannakouris [Giannakouris, 2008] qui se base sur les prévisions d'EURPOP2008 sur la population des 27 pays de l'Union Européenne, nous pouvons étudier l'évolution en âge de la population européenne sur les prochaines années.

Comme nous pouvons le voir sur le graphique (Cf. Figure 1), d'ici 2060, nous devrions avoir 30% de la population âgée de 65 ans et plus. Ce chiffre est à comparer à celui de 2008 où seulement 17% de la population était âgée de 65 ans ou plus. Nous arrivons à une augmentation de 13% ce qui n'est pas négligeable d'autant plus que cette augmentation se répercute principalement sur le pourcentage de la population comprise entre 15 et 64 ans qui diminue légèrement contrairement à celle des 80 ans et plus qui dépasserait 12%.

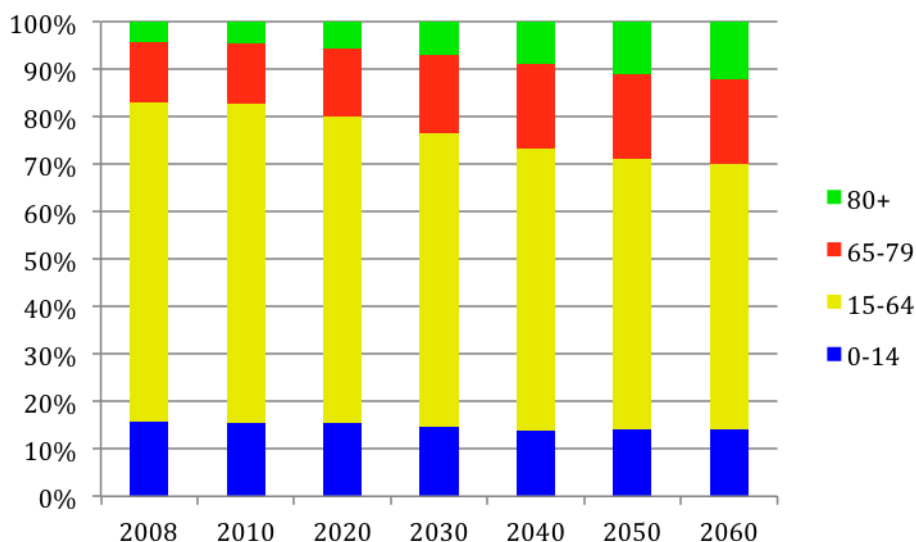


Figure 1 - Répartition de la population de l'Union Européenne des 27 en fonction de l'année

Cette augmentation ne va pas sans poser de problèmes. En effet, à partir de ces résultats, nous pouvons calculer le taux de dépendance économique des jeunes ou des personnes âgées. À titre de rappel, celui-ci correspond au pourcentage du résultat de la division du nombre de personnes de la population ciblée (0-14 ans pour la dépendance économique des jeunes et 65 ans et plus pour la dépendance économique des personnes âgées) par le nombre de personnes dans la tranche active, c'est-à-dire la tranche 15-64 ans. Ce que nous pouvons remarquer c'est que d'un côté celui des jeunes va augmenter que très peu tandis que dans le même temps celui des personnes âgées (65 ans et plus) va plus que doubler (Cf. Figure 2).

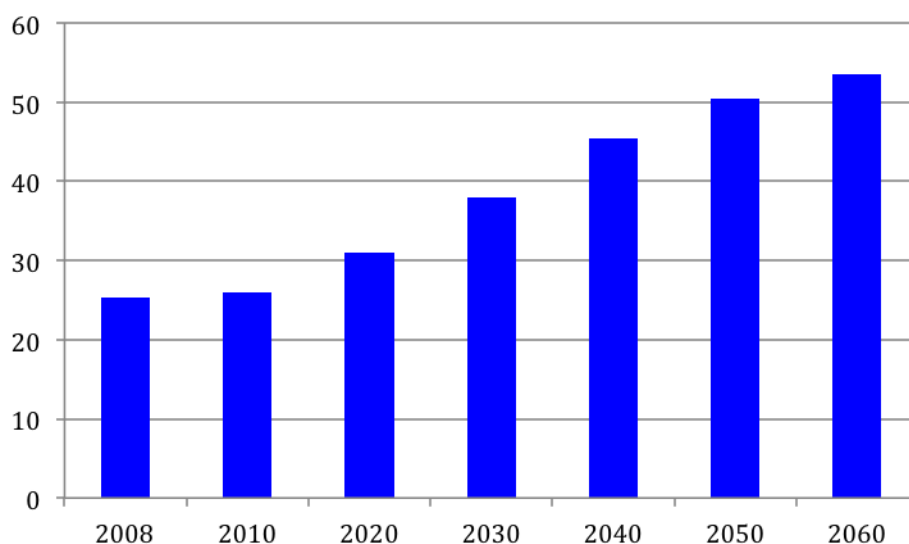


Figure 2 - Taux de dépendance économique des personnes âgées de l'Union Européenne des 27 en fonction de l'année

La communauté est confrontée à la nécessité d'augmenter et d'optimiser les solutions à base des technologies de l'information et de la communication permettant d'aider et de rendre autonome les personnes âgées dans leurs lieux de vie.

D'après le professeur Alain Franco [Franco, 2010] « plus de 90% des personnes âgées de plus de 60 ans vivent à domicile et l'immense majorité d'entre eux souhaite vivre chez soi le plus longtemps possible ». Le choix de vouloir vivre chez soi le plus longtemps possible n'est pas anodin. Il s'explique par la symbolique du foyer qui renvoie selon le professeur A. Franco à « une dimension de continuité et de résistance au temps essentielle à mesure de l'avancée en âge ».

Ce souhait de rester à domicile, additionné à la nécessité d'augmenter et d'optimiser les solutions permettant d'aider les personnes âgées, va automatiquement entraîner une hausse dans les besoins d'aidants et de systèmes d'aide à domicile. Ce constat est déjà visible selon l'Agence Nationale des Services à la Personne (ANSP) qui a recensé une création de 312 000 emplois depuis 2004 [Franco, 2010].

Une enquête sur la consommation des seniors [Lehuédé, 2010] montre des résultats très intéressants sur l'évolution du pouvoir d'achat de la population. En effet, en 2010 les ménages âgés de plus de soixante ans représentaient déjà 48% des dépenses dans les biens de consommation. Ce chiffre va continuer à s'élever jusqu'à atteindre 54% en 2015. Ces chiffres s'expliquent principalement par l'augmentation d'une génération de personnes âgées ayant pris l'habitude de consommer plus facilement que lorsqu'ils avaient entre 30 et 40 ans. Ces mêmes personnes sont plus enclines à l'innovation que l'ont été les générations précédentes. Il faut cependant que ces innovations à base de technologies répondent à un confort d'usage

plus accru et à une augmentation de leur loisir. Toujours selon l'enquête de Lehuédé [Lehuédé, 2010], 15% des personnes âgées de plus de 70 ans sont incités à acheter un produit du seul fait de sa nouveauté technologique. Ce dernier chiffre montre bien une évolution du rapport des personnes âgées à la technologie.

À cette enquête, il est intéressant d'y associer les conclusions des recherches menées sur l'acceptabilité de la technologie par les personnes âgées avec ou sans problèmes cognitifs et/ou physiques. Björneby [Björneby et al., 1999] montre qu'il est important de tenir compte de l'acceptabilité des nouvelles technologies par les personnes âgées lors de la conception de nouvelles interfaces. C'est d'autant plus important étant donné le pouvoir d'achat potentiel des personnes âgées. Cependant, la méthode classique de développement pour tous (*design for all* [Stephanidis, 1997]) n'est pas adaptée à la conception de services interactifs pour les personnes âgées [Gregor et al., 2002], [Hawthorn, 2003]. En effet, les personnes âgées ont besoin d'une simplification plus importante des interactions quitte à perdre en fonctionnalités ; à l'inverse des jeunes adultes qui recherchent un maximum de fonctionnalités accessibles.

Mikkonen [Mikkonen, 2002] montre que les services les plus demandés par les personnes âgées sont les services à domicile et d'aide à la vie de tous les jours. La possibilité de contacter les personnes qu'elles aiment par les nouveaux modes de communication telle que la visioconférence est aussi une fonction très demandée et très appréciée [Lindley et al., 2008]. Cependant, l'un des plus gros apports de la technologie est que celle-ci participe à l'amélioration de la vie des personnes qu'elles aiment en se sentant utiles. Les personnes âgées sont également favorables à l'aide informatisée à domicile [Kaldoudi et al., 2009] à condition que celle-ci les aide au niveau de leur santé : principalement au niveau de la télémédecine et de la téléassistance. Des écrans de suivi médical sont par exemple une solution très positive pour les patients, la famille et les personnels médicaux [Wilcox et al., 2010].

Ce constat généralisé à toutes les personnes âgées est d'autant plus vrai chez les personnes atteintes de problèmes cognitifs ou d'une maladie chronique [Gowans et al., 2004], [Bhachu et al., 2008]. Ces solutions informatisées sont bien acceptées à la fois par les personnes âgées et à la fois par les aidants. Le point commun à ces recherches est l'utilisation d'un système à base d'écran tactile. L'interaction sur écran tactile est considérée comme étant moins intimidante et moins frustrante que les interactions classiques d'accès à l'ordinateur pour des applications de type « *health caring* » [Piper et al., 2010]. Elle est également identifiée

comme étant moins coûteuse cognitivement [Wood et al., 2005] et aide à la précision par une meilleure spatialisation [Tan et al., 2002].

Ces travaux mettent en évidence la nécessité d'étudier l'interaction tactile pour les personnes âgées. Cette nécessité correspond à la problématique de ma thèse intitulée « Interactions tactiles chez les personnes âgées ».

Pour répondre à celle-ci, nous avons organisé notre travail en trois parties :

- la première permet de mieux connaître les tenants et les aboutissants des problèmes liés à l'âge, la spécificité d'un écran tactile et les gérontechnologies actuelles à base d'écran tactile ;
- une seconde partie met en évidence des solutions d'optimisation spatiale de l'interaction tactile dans le but de maximiser la taille d'affichage de la tâche principale ;
- enfin la dernière partie étudie l'intérêt de l'interaction tactile et plus particulièrement l'utilisation de plusieurs doigts lors de la manipulation d'objet afin de vérifier l'intérêt du *multitouch* pour les personnes âgées.

Nous finirons par une proposition de règles de conception à suivre pour une meilleure prise en compte des personnes âgées lorsqu'une interaction tactile est utilisée.

B. L'âge et les déficiences liées

Le vieillissement entraîne des changements dans les facultés physiques et cognitives chez les personnes âgées. Ces changements [Carmichael, 1999], [Albaret et Aubert, 2001] se portent sur les sens de la personne âgée : vision, audition et toucher, mais aussi sur leurs facultés motrices et sur leurs capacités cognitives. D'autres changements existent comme le vieillissement psychomoteur ou la modification de la perception du goût. Ceux-ci ne seront pas étudiés dans le cadre de ces travaux de thèse. Ils seront donc omis de cet état de l'art.

Cette partie va décrire ces différents changements et par conséquent les divers problèmes auxquels on peut s'attendre avec l'avancement de l'âge.

1) Les sens

a) La vision

Avant de commencer à présenter les troubles visuels et principalement ceux liés à l'âge, une explication du fonctionnement de l'œil est nécessaire pour bien les comprendre. Ensuite, une description rapide des différents troubles classiques est présentée comme la myopie, l'astigmatisme suivi des troubles plus spécifiques à l'âge comme la presbytie.

L'œil : son anatomie et son fonctionnement

L'œil (Cf. Figure 3), vu de face, est constitué d'une partie blanche ou « sclère » et une partie colorée. Cette partie est elle-même constituée de trois parties : l'iris correspondant à la surface colorée, la pupille correspondant à la partie noire et enfin une coupole transparente constituée de la cornée et de l'humeur aqueuse recouvrant ces deux premières parties. Par une vue de profil, nous voyons que la paupière permet de protéger l'œil. Elle est suivie par le cristallin, le vitré, la rétine et enfin le nerf optique.

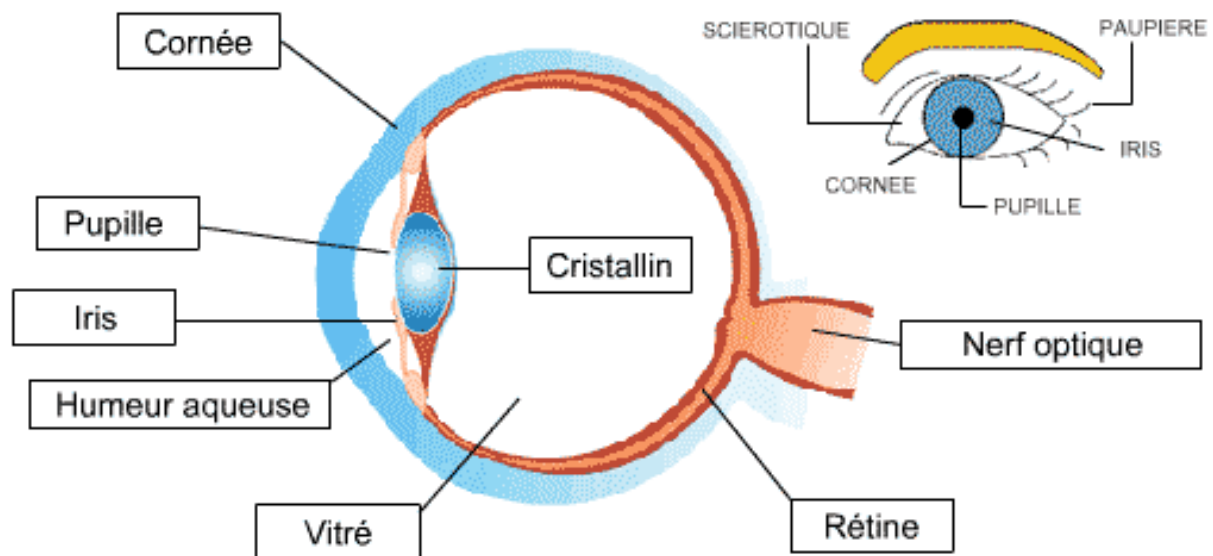


Figure 3 - Représentation de l'œil en vue de face et de profil tirée du site d'Essilor¹

L'œil fonctionne par la succession d'étapes permettant de transformer une image en signal électrique exploitable par le cerveau.

L'image doit d'abord traverser la cornée. Elle joue un rôle prépondérant dans la focalisation de la rétine. Elle doit toujours être propre et transparente. Pour maintenir ces deux propriétés, la fermeture régulière des paupières (clignement) et la sécrétion lacrymale sont nécessaires pour nettoyer toutes les impuretés. Une fois la cornée traversée, l'image passe par le cristallin qui permet de focaliser correctement sur un objet quel que soit sa distance. Puis, il traverse la pupille qui permet de contrôler la quantité de lumière entrant dans l'œil. Enfin, la rétine fait office de film photographique ou de capteur et convertit le signal lumineux en signal électrique. Ce signal passe par le nerf optique pour être traité par le cerveau.

Les problèmes de vision

Les défauts classiques de perception de l'œil sont dus à une mauvaise formation de l'image sur la rétine. Celle-ci est, soit floue, soit déformée voire les deux. Ces défauts sont nommés amétropie et correspondent à la myopie, l'hypermétropie ou l'astigmatisme. La myopie se caractérise par une vision nette à courte distance et une vision floue de loin. Ceci est dû à une formation de l'image devant la rétine. L'hypermétropie se caractérise par une vision nette de loin et moins bonne de près. Ceci est dû à une formation de l'image derrière la rétine.

¹ Image extraite du site

<http://www.essilor.fr/administration/modules/generateur/upload/061229060255.gif>

L'astigmatisme se caractérise par une vision imprécise de près comme de loin. Ceci est dû à la courbure de la cornée qui est légèrement ovale au lieu d'être ronde.

Pour corriger ces défauts, la solution la plus utilisée est le port de lunettes ou de lentilles de contact.

L'âge entraîne des modifications physiologiques qui rajoutent de nouveaux problèmes de vision.

Avec l'âge, la faculté à bien percevoir lorsqu'il fait nuit ou sombre est diminuée. Ce changement s'explique par une réduction du diamètre de la pupille, l'apparition possible de la cataracte² (Cf. Figure 5) et de la presbytie³. Ces modifications de l'œil provoquent un signal amoindri une fois arrivé sur la rétine, s'accompagnant d'une augmentation du bruit qui entraîne une dégradation de la qualité de l'image perçue. Pour compenser la perte de capacité à voir en milieu sombre, il est dit qu'il faut augmenter la luminance par trois.

L'âge augmente parallèlement l'effet d'éblouissement. Cette affirmation se base sur le fait que l'effet est proportionnel au seuil minimum de perception de la luminance, lequel est plus élevé chez les personnes âgées comme montré ci-dessus.

La distinction des couleurs par les personnes âgées peut aussi être moins bonne. Un amoindrissement de la pigmentation réduit la perception des couleurs jaune et bleu et par la suite le vert [Tavernier-Vidal et al., 1991]. La cataracte est équivalente au rajout d'un filtre de couleur jaune modifiant effectivement les couleurs perçues. Helve montre aussi que des difficultés existent pour différencier le bleu et le vert [Helve et Krause, 1972].

Un autre changement apparaissant à partir de soixante-cinq ans est la Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge (DMLA). Elle se porte sur une détérioration de la macula (ou fovéa) qui correspond à la partie centrale de la rétine. Cette détérioration provoque une perte de la vision centrale tout en laissant la vision périphérique ou latérale sans problèmes. C'est particulièrement gênant, car la partie centrale est la seule partie de l'œil permettant une vision précise (Cf. Figure 4).

² La cataracte est une maladie qui survient autour de soixante et soixante-cinq ans. Elle est assez commune car elle touche la moitié des personnes âgées de plus de soixante-cinq ans. Le cristallin s'opacifie et empêche la lumière d'atteindre correctement la rétine. Elle donne l'impression d'avoir un voile placé devant les yeux.

³ La presbytie est une modification du cristallin qui le rend plus rigide. Elle apparaît autour de quarante-cinq ans. Ce changement réduit la faculté à bien focaliser en vision proche.

D'autres modifications sont déclenchées principalement à cause du diabète : la rétinopathie diabétique et le glaucome. La rétinopathie diabétique provoque la création de liquides et de graisses, voir des hémorragies qui entraînent une perte des détails voir une perte de vision à cause de taches mobiles sur la rétine (Cf. Figure 6). Le glaucome peut apparaître à tout âge, mais plus particulièrement chez les personnes à risque comme celles de plus de quarante ans ou les diabétiques. Il provoque une perte progressive de la vision périphérique puis centrale (Cf. Figure 7). Il touche autour de cinq pour cent des personnes âgées de plus de soixante-cinq ans.



Figure 4 - Représentation d'une DMLA par Essilor⁴



Figure 5 - Représentation d'une cataracte par Essilor⁵



Figure 6 - Représentation d'une rétinopathie diabétique par Essilor⁶



Figure 7 - Représentation d'un glaucome par Essilor⁷

D'autres changements se portent sur le fonctionnement moteur de l'œil. Ces changements apparaissent lors des saccades : lorsque l'œil doit se déplacer pour fixer un autre point. Les personnes âgées mettent plus de temps et sont moins précises. Ce manque de précision entraînant la nécessité de micro ajustement. Il a aussi été montré que les personnes âgées ont des problèmes lorsqu'ils doivent suivre des yeux un objet.

Il faut aussi remarquer que la vision périphérique décroît avec l'âge. Cette diminution a été prouvée cliniquement, mais les résultats n'expliquent pas la perte plus importante dans des scènes complexes de la vie courante. La cause la plus plausible de cette différence est

⁴ Image extraite du site

http://www.essilor.fr/administration/modules/generateur/upload/01_070315014935.jpg

⁵ Image extraite du site

http://www.essilor.fr/administration/modules/generateur/upload/01_070315014936.jpg

⁶ Image extraite du site

http://www.essilor.fr/administration/modules/generateur/upload/01_070315020005.jpg

⁷ Image extraite du site

http://www.essilor.fr/administration/modules/generateur/upload/01_070315020020.jpg

l'attention plus importante demandée pour compenser les pertes au centre du champ de vision. L'expérience de [Humphreys et Bruce, 1989] a montré que plus l'objet à fixer est mauvais (identification d'une lettre dégradée, par exemple), plus les objets dans la vision périphérique ne seront pas détectés.

De même, la fréquence critique de fusion⁸ diminue aussi avec l'âge [Welford, 1985], [Timiras et Jobin, 1997]. Cette fréquence passe de 40 Hertz à 30 Hertz pour un âge passant respectivement de 50 ans à 80 ans.

La perception du plus petit mouvement est aussi affectée probablement par la chute de la qualité de perception de la différence entre deux images binoculaires ainsi que des mécanismes centraux d'intégration de ces données [Welford, 1985].

Un autre changement porte sur la perception de la profondeur par les personnes âgées [Fozard et al., 1977].

Finalement, les personnes âgées ont aussi des problèmes pour isoler des détails et pour les identifier : l'aspect cognitif influencerait probablement l'acuité visuelle selon des études de [Weston, 1948] et [Weston, 1949].

b) L'audition

Le fonctionnement de l'audition repose sur les deux oreilles (pour permettre la perception binaurale ou stéréophonie) et les voies centrales avec un rétrocontrôle permanent du cerveau (Cf. Figure 8).

Les sons entendus suivent chronologiquement les différents éléments de la Figure 8. Les sons sont d'abord captés par le pavillon, puis se propagent dans le conduit auditif externe. Les sons sont propagés sous forme d'ondes et mettent en vibration le tympan (énergie mécanique) dans l'oreille moyenne. Une partie appelée osselets (marteau, enclume, étrier) transmet cette énergie en l'amplifiant, pour éviter la perte d'énergie liée au passage du milieu aérien au milieu liquidien.

L'onde ainsi créée met en vibration la membrane basilaire se trouvant dans la cochlée. Cette membrane va permettre une première analyse du son notamment en fréquence (tonotopie). La partie basse de la cochlée va analyser les sons aigus, tandis que la partie haute (apex) va coder les sons graves. Il existe deux systèmes de cellule sensorielle dans la cochlée : les cellules ciliées internes qui transmettent le son vers les voies centrales ; les cellules ciliées externes,

⁸ La fréquence critique de fusion est la fréquence maximale avec laquelle un stimulus clignotant est encore perçu comme clignotant.

plus nombreuses, reçoivent les voies efférentes du cerveau et agissent en préamplificateur du son pour une adaptation en temps réel de l'audition. Ce système permet de comprendre la parole dans le bruit. Les impulsions électriques fournies partent sur le nerf auditif et sont analysées dans l'aire auditive.

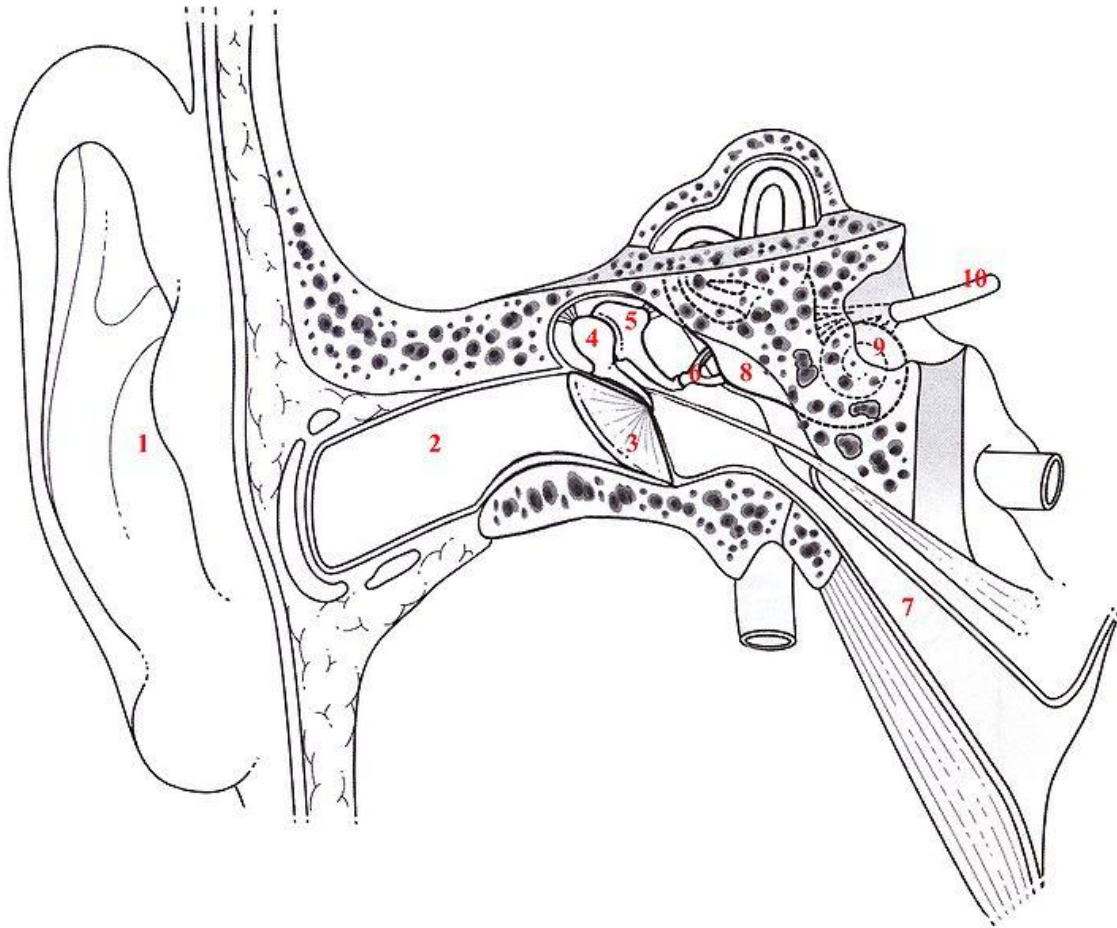


Figure 8 - Schéma de l'oreille extrait de Wikipédia : 1) Pavillon 2) Conduit auditif externe 3) Tympan 4) Marteau 5) Enclume 6) Étrier 7) Trompe d'Eustache 8) Oreille interne 9) Cochlée 10) Nerf auditif⁹

Le pavillon tend à s'agrandir et être plus rigide avec l'âge ce qui réduit la faculté de localisation des sons [Corso, 1977]. Les parois du conduit auditif externe montrent des signes d'atrophie et deviennent plus fines avec l'âge. Hors, il a été montré que ce conduit permet une pré amplification du son. Par conséquent, cette modification des parois réduit le volume sonore atteignant le tympan.

Un autre effet majeur de l'âge est la tendance à ce que les membranes du tympan deviennent moins flexibles provoquant une réponse auditive diminuée. Cette tendance s'explique par une

⁹ Image extraite du site <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Oreille-Audition.jpg>

probabilité plus importante d'écouter de bruits trop forts pouvant dégrader l'audition et au fait qu'il y a plus de chance d'avoir travaillé dans un milieu très bruyant.

Les personnes âgées ont plus souvent la trompe d'Eustache bloquée : ceci provoque un changement de pression du liquide dans l'oreille interne. Ce changement réduit le mouvement des osselets et le niveau du signal transmis.

Des changements ont aussi lieu au niveau des osselets (marteau, enclume et étrier) et de la cochlée. Ces problèmes sont regroupés sous le nom de presbycousie et apparaissent à partir de cinquante ans. On en distingue de quatre types : la presbycousie mécanique laquelle est portée sur l'augmentation de la rigidité des osselets ou de la cochlée ; la presbycousie sensorielle laquelle est due aux changements dans les cellules réceptrices dans toute la cochlée ; la presbycousie métabolique laquelle se porte sur le changement dans les propriétés des liquides dans la cochlée ; et enfin la presbycousie neurale laquelle découle de la perte de neurones dans le nerf auditif. La presbycousie se traduit par une perte progressive d'audition dans les hautes fréquences. La perte commence dans les fréquences supérieures à huit, puis 6 et enfin quatre kilohertz. La perte augmente avec l'âge et peut toucher n'importe quelle fréquence, mais généralement plus les hautes fréquences que les basses fréquences selon [Spor, 1967] cité dans [Mishara et Riedel, 1994]. Les sons aigus contenus dans les consonnes ne sont pas ou très peu perçus ce qui entraîne une mauvaise compréhension du discours [Mishara et Riedel, 1994], [Timiras et Jobin, 1997].

Cette perte de fréquence ne se remarque pas au début, mais se distingue par la nécessité d'avoir un appui visuel du mouvement des lèvres de l'interlocuteur lors d'une communication orale. Dans un environnement bruyant, il devient impossible de comprendre une conversation à moins d'augmenter fortement la voix ou de parvenir à lire sur les lèvres. Ce phénomène de perte de fréquence peut, dans des cas plus avancés, provoquer un isolement de la personne par la peur de ne plus pouvoir communiquer correctement avec les autres.

Lorsque l'on fait intervenir la technologie dans la communication, des problèmes apparaissent et s'expliquent par les pertes auditives citées plus haut.

Les synthèses vocales ne sont pas intelligibles par les personnes âgées principalement, car elles manquent d'une mélodie naturelle dans la production de parole [Allen, 1990]. Ce manque d'intelligibilité empêche les personnes âgées d'identifier les sons et les mots et par conséquent réduit la compréhension de l'échange vocal.

La qualité du signal restitué par une webcam est aussi très importante pour la bonne compréhension d'une communication. L'étude de [Carmichael, 1994] a montré que les

personnes âgées avaient des problèmes de compréhension du message lorsque celui-ci avait un taux de compression sonore trop élevé.

Il est aussi intéressant de noter que le temps de réaction à un stimulus sonore s'accroît avec l'âge plus rapidement à partir de cinquante ans qu'avec un stimulus visuel ou tactile [Feldman et Reger, 1967].

La réduction du temps de traitement de l'audition provoque des difficultés à comprendre des discours rapides.

Bien que nous ayons décrit succinctement les troubles de l'audition, ceux-ci ne seront pas considérés dans la suite de ce document de thèse.

c) Le toucher

Comme pour la vision et l'audition, l'âge n'est pas le seul responsable de la réduction de la qualité du toucher. Celle-ci peut être imputée à des accidents ou à des maladies qui ont plus de chance d'apparaître avec une durée de vie plus longue. Nous pouvons citer par exemple le diabète qui affecte de nombreuses personnes âgées et qui crée de nombreux problèmes de santé. Cependant, certaines observations sont directement liées à l'âge.

Le toucher fonctionne lorsqu'un contact se crée entre la peau et un objet. La peau a une épaisseur de un à quatre millimètres suivant la partie du corps. Elle est constituée de deux couches : l'épiderme et le derme. L'épiderme est la couche extérieure tandis que le derme est la couche inférieure où se trouvent les terminaisons nerveuses permettant de transférer les informations au cerveau. Le toucher permet de saisir de nombreux types d'informations comme le tactile (la reconnaissance de texture), le thermique (la chaleur ou la froideur) et l'émotionnel (la douleur, la sensualité, etc.).

Le sens tactile se réduit avec l'âge [Birren et Schaie, 1977]. Le seuil de sensibilité tactile et digitale se dégrade et augmente de 2,2 fois en moyenne [Spirduso, 1995], [Timiras et Jobin, 1997]. Ceci s'explique par la diminution du nombre de récepteurs encapsulés (corpuscules de Vater-Pacini, de Meissner) et non encapsulés (cellules de Merckel-Ranvier et les terminaisons libres). Une méthode largement utilisée pour mesurer la précision de détection est de calculer la distance pour laquelle deux points ne sont détectés plus que comme un seul par un doigt ou la paume de la main. Cette distance se nomme seuil de limen à deux points. Cette distance pour la paume de la main est de 7,8 mm chez les personnes âgées tandis qu'elle est de 6,3 mm chez les jeunes adultes [Tavernier-Vidal et Mourey, 1991]. Pour le petit doigt, la valeur passe de 2 à 6 mm et pour le pouce, elle passe de 2,2 à 3,9 mm.

La perception des vibrations décline avec l'âge. Ce déclin est plus important pour les membres inférieurs que pour les membres supérieurs. Plus la fréquence de vibrations est importante, plus la détection se dégrade avec l'âge. La dégradation est légère pour des fréquences inférieures ou égales à 150 Hertz, et peut être beaucoup plus importante pour des fréquences supérieures et avoisinant 600 Hertz. Pour une fréquence de 100 Hertz, entre 5 et 90 ans, la dégradation est d'un facteur trois.

La combinaison de ces pertes de perception tactile explique probablement la perte de la perception de la reconnaissance tactile de la forme d'un objet.

2) La motricité

D'après Albaret [Albaret et Aubert, 2001], « les altérations liées au vieillissement des fonctions motrices et psychomotrices portent, d'une part, sur des limitations de la force, de l'endurance, de la souplesse, de la vitesse et de l'amplitude des mouvements, mais aussi sur une réduction des capacités de traitement de l'information, concernant principalement l'attention ainsi que les processus de sélection et de programmation de la réponse motrice ». En effet, les personnes âgées ont des pertes de rapidité et des problèmes de combinaison de mouvements dans l'exécution d'une tâche. Cette augmentation du temps de réaction et ce manque de coordination expliquent la baisse en faculté motrice. À ces deux éléments s'ajoutent également la perte progressive de la masse musculaire et la diminution de l'amplitude articulaire. La conséquence directe est une apparition plus rapide de la fatigue et une perception accrue de la pénibilité d'une activité lorsque celle-ci est trop longue.

Inglin [Inglin et Woollacott, 1988] a montré que les muscles permettant la stabilité ont un temps de latence inférieur aux muscles permettant de réaliser une action dans une tâche d'ouverture de porte tout en restant debout sur une plateforme permettant de mesurer la répartition du poids. Ce résultat peut s'expliquer comme une perte de l'habileté à coordonner différents mouvements. Une autre explication est une volonté de précision plus importante. Les personnes âgées sont plus vigilantes à l'environnement et plus précises dans leur perception du milieu et de leurs capacités actuelles à effectuer un mouvement pour une tâche de précision [Konczak et al., 1992]. Les personnes âgées mettent aussi plus de temps pour changer de direction dans une tâche de jeux vidéo [Clarck et al., 1987] ce qui peut expliquer cette volonté d'être plus précis.

Les problèmes de coordination ne se transposent pas à toutes les tâches de coordination de mouvements. Un exemple est la réalisation de tâches de pointage. La coordination oculomanuelle dans une tâche de pointage mono manuel a des temps de latence similaires

entre des groupes à capacité musculaire équivalente [Warabi et al., 1986]. La seule différence entre les sujets de 60-69 ans par rapport aux sujets de 20-29 ans est une plus grande lenteur. Pour des mouvements bi manuels rapides pour des cibles à différentes distances, les personnes âgées ont des mouvements parfaitement coordonnés [Rothstein et al., 1989].

Dans une tâche de pointage ou de prise d'un objet, les temps de mouvement sont plus longs ainsi que les phases de décélération lors d'une tâche de précision [Roy et al., 1996]. Roy a aussi montré que les personnes âgées mettent plus de temps à apprécier les caractéristiques du déplacement lors d'une tâche de préhension d'objet.

Morgan [Morgan et al., 1994] montre que les personnes âgées ont des troubles de coordination motrice dans une tâche de pointage de cibles en forme de zigzag. Ils réalisent plus de sous mouvements et ont plus d'hésitations. Diggles-Buckles [Diggles-Buckles, 1993] suggère que cette perte de coordination motrice est due à un déclin des structures de coordination qui permettent le contrôle simultané de plusieurs articulations.

L'étude de la coordination a amené la création de la théorie des systèmes dynamiques [Kelso, 1995], [Zanone, 1999] permettant de modéliser les coordinations biologiques assurant la robustesse et la flexibilité. Greene [Greene et Williams, 1996] montre une fréquence de mouvement des membres supérieurs (flexion et extension du poignet) plus basse chez les personnes âgées de 60 à 78 ans que pour les sujets jeunes de 23 à 32 ans dans une tâche mi manuelle. Pour les sujets les plus âgés (70 à 78 ans), un découplage se crée entre les deux mains à vitesse maximale : la main droite se déplaçant plus vite et avec une plus grande amplitude. La coordination bi manuelle reste stable avec l'avancée en âge lorsque des muscles homologues sont utilisés. Par contre, elle se détériore lorsqu'une coordination avec des mouvements asymétriques est demandée.

Lors de l'apprentissage de nouveaux mouvements demandant une coordination bi manuelle (relation de phase de 90° entre les deux bras), les personnes âgées ont plus de difficultés que les jeunes adultes [Swinnen et al., 1998]. Avec la pratique, le taux d'erreurs diminue, mais plus lentement que chez les sujets jeunes. Par contre, la variabilité de phase relative augmente tandis qu'elle diminue chez les jeunes adultes. La variabilité augmente aussi au niveau du temps de réalisation et de l'amplitude du mouvement. Ces résultats montrent que les personnes âgées s'adaptent plus difficilement à une augmentation dans la complexité d'une tâche motrice.

Le temps de mouvement entre la main gauche et la main droite augmente avec l'âge pour une tâche de placement de cheville (pegboard). Ce qui montre une dégradation progressive de l'habileté avec la main gauche [Weller et Latimer-Sayer, 1985].

La force musculaire décroît avec l'âge. Elle est à son apogée entre 25 et 30 ans, décroît de 1% par an entre 45 et 55 ans, puis de 1,5% à 2% entre 55 et 65 ans, et enfin de 2% après 65 ans. Ce qui se traduit par une réduction de 40 à 50% de la force musculaire entre une personne de 20 ans et une personne de 80 ans.

Les personnes âgées ont aussi tendance à développer plus de force dans la préhension d'objet. Ils utilisent jusqu'à deux fois plus de force pour saisir un objet avec les doigts. Ceci est dû à la diminution des signaux tactiles qu'ils cherchent à compenser [Cole, 1991]. Les personnes âgées rencontrent également des difficultés lorsqu'ils doivent à la fois exercer une pression et un mouvement. Une étude [Spirduso et Choi, 1993] montre que les sujets âgés de 61 à 81 ans sont plus lents et moins précis que les sujets jeunes de 18 à 23 ans sur une tâche de traçage des contours d'un triangle à l'aide de leviers actionnables par des commandes digitales. Cette observation est aussi visible sur un écran tactile [Wood et al., 2005].

3) Les facultés cognitives

Les facultés cognitives varient de nombreuses manières : les systèmes de mémoire évoluent et les pertes cognitives touchent la mémoire de travail, la mémoire épisodique, la mémoire sémantique et du langage et la mémoire non déclarative ; l'intelligence est aussi modifiée et des stratégies de raisonnement et de résolution de problèmes sont créées pour compenser ces modifications.

a) Les systèmes de mémoire

La mémoire est souvent divisée en deux grands axes : la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. La mémoire à court terme est aussi appelée mémoire de travail. C'est elle qui permet de stocker les informations qui se trouvent dans le focus attentionnel. Elle est assez limitée [Miller, 1956] et influe fortement sur les facultés cognitives supérieures de la personne : langage, mémoire, raisonnement, etc. [Baddeley, 1986], [Van der Linden, 1997]. La mémoire à long terme est constituée des mémoires dites déclaratives et non déclaratives. Pour la mémoire déclarative, deux types de mémoire existent : la mémoire épisodique et la mémoire sémantique et du langage. La mémoire épisodique correspond aux souvenirs de l'expérience personnelle [Schacter et Tulving, 1994] ; la mémoire sémantique permet le stockage des connaissances conceptuelles qui interviennent dans la communication et dans l'élaboration de représentations abstraites [Tulving, 1983]. La mémoire procédurale ou non déclarative correspond à des souvenirs non conscients [Marquié et Isingrini, 2001]. Chacune de ces mémoires évolue différemment avec l'âge.

La mémoire de travail

La mémoire de travail peut être utilisée de nombreuses façons et est liée à plusieurs types de capacités : la capacité à reproduire directement une information, la capacité à calculer, la capacité à lire, etc. En fonction du type de capacité, l'âge influencera ou non sur leur efficacité. Par exemple, pour la capacité de restitution directe lors d'une tâche de répétition d'une suite de chiffre ou de lettres, les personnes âgées ne se démarquent pas significativement des jeunes adultes [Kausler, 1994]. A contrario, lorsque le sujet doit réaliser des manipulations en plus de l'information fournie, l'âge influence significativement [Salthouse, 1994], [Van der Linden, 1994], [Hupet et Nef, 1994], [Craik et al., 1995].

La mémoire épisodique

La mémoire épisodique se base sur les acquis appris durant la vie. Pour pouvoir la tester, différentes tâches sont utilisées : des tâches de rappel libre, des tâches de rappel indicé et/ou des tâches de reconnaissance. Pour toutes ces tâches, le vieillissement induit des modifications plus ou moins importantes [Isingrini et Taconnat, 1997]. Les tâches de rappel sont plus impactées par l'âge que les tâches de reconnaissance [Isingrini et al., 1996]. Pour la reconnaissance, plus le nombre de distracteurs augmente, plus l'effet de l'âge est visible [Kausler et Keilm, 1978]. Les personnes âgées ont aussi beaucoup de mal à se rappeler précisément du contexte lors de la mémorisation [Kausler, 1994], [Spencer et Raz, 1995].

La mémoire sémantique et du langage

La mémoire sémantique est dans l'ensemble très peu touchée par le vieillissement [Light, 1992]. Elle peut même être supérieure avec l'âge dans certaines tâches comme celle sur le vocabulaire. Il est donc admis que la mémoire sémantique reste stable avec l'âge. Pour des tâches de rappel de mot limitées dans le temps, les personnes âgées ont plus de mal, mais lorsqu'elles ne sont plus limitées par le temps, elles ont de meilleurs résultats que les jeunes adultes [Burke et al., 1991]. La mémoire sémantique subit un ralentissement avec l'avancée en âge. Le langage se base principalement sur la mémoire sémantique et n'est donc que très peu touché par l'âge. La compréhension est équivalente [LaBerge et Samuels, 1974] et pour les paradigmes de décision lexicale ou d'amorçage présémantique, les performances sont équivalentes sauf pour le temps de réalisation de la tâche qui est plus long [Stern et al., 1991].

La mémoire non déclarative

La mémoire non déclarative se base sur des expériences antérieures qui influencent la performance actuelle sans en avoir conscience [Squire, 1994]. Deux aspects en découlent : les apprentissages procéduraux et les effets d'amorçage.

L'apprentissage procédural correspond à un apprentissage à base de répétition. Il est touché chez les personnes âgées pour l'apprentissage de nouvelles tâches tandis que pour les tâches déjà acquises, l'âge n'affecte que très peu les performances [Charness et Bosman, 1992], [Brennan et al., 1997].

Les effets d'amorçage correspondent à des souvenirs non conscients réagissant à des stimuli spécifiques rencontrés au moins une fois et améliorant les performances. Les tâches implicites de rappel n'engendrent pas de différences entre les jeunes adultes et les personnes âgées tandis que les tâches explicites en engendrent [Isingrini et al., 1995]. Dans l'ensemble, les effets d'amorçage ne sont pas impactés par l'âge [Hultsch et al., 1991].

Pour conclure cette partie sur la mémoire, le vieillissement n'affecte pas de la même manière toutes les mémoires. La mémoire de travail est la plus touchée et c'est elle qui a les effets les plus visibles sur la perte de performances dans des tâches cognitives complexes. Les personnes âgées ont aussi du mal au niveau du rappel d'événements précis et de la reconnaissance d'objets avec des distracteurs. Au niveau de la mémoire sémantique, elle est ralentie, mais non dégradée. Pour l'apprentissage procédural, les personnes âgées ont besoin de plus de temps pour l'apprentissage de nouvelles tâches. Pour les effets d'amorçage, on aperçoit, comme pour la mémoire de travail et la mémoire épisodique au niveau de la reconnaissance, que la complexité de la tâche demandée augmente l'impact de l'âge.

b) L'intelligence

L'intelligence est une « fonction cognitive essentielle qui concerne la capacité de mise en œuvre de moyens pour résoudre un problème » selon Jean-Claude Marquié [Marquié et Isingrini, 2001]. Pour pouvoir fonctionner, elle fait appel à la mémoire et/ou à l'élaboration de nouvelles stratégies. Plusieurs moyens permettent de tester l'intelligence : les tests psychométriques et les tâches de raisonnement ou de résolution de problèmes.

Les informations données par les tests psychométriques

Il a été remarqué qu'un déclin dans les facultés intellectuelles est lié à l'âge. Cependant, les différentes habilités intellectuelles comme les habilités verbales ou de performances ne sont

pas impactées de la même manière. Par exemple, pour le test de la WAIS-R permettant de calculer des Quotients Intellectuels (QI), les personnes âgées ont des scores proches pour les tests de QI verbal (Arithmétique, Compréhension, Mémoire des chiffres, etc.) par rapport aux jeunes adultes, tandis que pour les tests de QI de performance (Assemblage d'objets, Complément d'image, Labyrinthe, etc.), une baisse peut être associée au vieillissement [Kaufman et al., 1989]. Lorsque le niveau d'étude est contrôlé, le QI verbal n'est plus réduit avec le vieillissement [Grégoire, 1993], [Isingrini et Vazou, 1997].

De ces résultats en ressort une analyse factorisant l'intelligence en deux catégories : une intelligence robuste à l'âge et une sensible à l'âge [Horn et Cattell, 1967]. La catégorie d'intelligence robuste est nommée intelligence cristallisée. Elle peut être associée à l'accumulation des connaissances mémorisées à travers la pratique et l'éducation. La catégorie d'intelligence sensible à l'âge est dite intelligence fluide. Elle est associée à la faculté de manipuler de l'information et utilise la mémoire de travail.

Pour l'intelligence cristallisée, le test de vocabulaire Mill Hill [Raven, 1943] a montré que les personnes âgées ont une intelligence relativement stable. Cette intelligence cristallisée peut même s'améliorer avec l'âge. Pour l'intelligence fluide, le test AH4 part 2 (un test dérivé des tests sur le QI qui est basé sur un problème s'apparentant à des puzzles) montre une différence mesurable entre les personnes de différents âges [Heim, 1968].

Il faut quand même faire attention à ne pas limiter toutes les situations à une de ces deux intelligences. Quel que soit le test demandé, il existe toujours un lien entre les deux types d'intelligence. Par exemple, un test sur la navigation de pages Web fait plutôt appel à une intelligence fluide afin de s'adapter à la construction de la page Web. Cependant, les personnes âgées se servent de leurs connaissances dans la recherche d'informations [Fairweather, 2008] [Chin et al., 2009].

Le raisonnement et la résolution de problèmes

Le raisonnement et la résolution de problèmes font intervenir principalement la mémoire fluide. La capacité de raisonner diminue avec l'âge [Lemaire, 1999], [Salthouse, 1991]. Plus le problème a de variables, plus le taux de réussite décroît. Ce n'est pas la capacité à réaliser des inférences qui est réduite, mais celle de garder en mémoire de travail les informations nécessaires pour la réalisation du problème [Salthouse et al., 1989]. En définitive, le problème est plus lié à la mobilisation des ressources qu'à leur utilisation. La résolution de problèmes est impactée par l'âge autant pour des problèmes familiers que pour des problèmes non

familiers. L'expertise acquise durant la vie peut dans certains domaines compenser les effets du vieillissement [Charness, 1981].

c) Les facteurs du vieillissement cognitif

L'étude des principales activités cognitives que sont la mémoire, le langage et l'intelligence, montre une non-homogénéité au niveau de l'impact du vieillissement. Pour pouvoir expliquer cette non-homogénéité, plusieurs facteurs ont été proposés dans la littérature [Marquié et Isingrini, 2001] : la vitesse de traitement, la capacité de la mémoire de travail et le dysfonctionnement exécutif.

L'hypothèse d'une vitesse de traitement plus lente chez la personne âgée explique de nombreux résultats au niveau de la mémoire, du raisonnement et de la perception [Salthouse, 1996]. Elle permet de prédire l'effet de l'âge sur la mémoire de travail [Salthouse et Babcock, 1991], la mémoire à long terme [Bryan et Luszcz, 1996] et dans des tâches de rotation spatiale et de raisonnement [Lindenberger et al., 1993]. Cette hypothèse conforte l'idée que les différences liées à l'âge sur les tâches cognitives sont associées à la réduction des capacités perceptives [Bryan et Luszcz, 1996].

L'hypothèse sur la mémoire de travail comme facteur du vieillissement est applicable à une grande part des activités cognitives : de nombreuses tâches cognitives demandant de stocker et manipuler des informations [Van der Linden, 1997]. Elle influe sur les activités de raisonnement [Salthouse, 1996], la compréhension du discours [Stine et Wingfield, 1987] ou la mémoire de texte et de mots [Park et al., 1996].

Les fonctions exécutives sont d'après [Dubois et al., 1994] l'ensemble des opérations, ou processus mentaux, nécessaires à l'exécution et au contrôle de comportements finalisés mis en œuvre dans des situations complexes et nouvelles. Elles font donc intervenir la mémoire, la résolution de problèmes, etc. L'hypothèse d'un dysfonctionnement exécutif est susceptible d'être à l'origine des principaux problèmes cognitifs chez les personnes âgées [Albert et Kaplan, 1980]. Ce dysfonctionnement intervient significativement dans l'explication des effets de l'âge au niveau de l'intelligence fluide [Isingrini et Vazou, 1997]. Il intervient aussi dans le fonctionnement mnésique [Fabiani et Friedman, 1997], [Schacter et al., 1997].

Toutes ces hypothèses ont chacune leur légitimité, mais n'expliquent pas à 100% le vieillissement cognitif. Ces trois facteurs partagent plus de 50% de variance liée à l'âge [Salthouse et al., 1996a]. La vitesse de traitement explique pour plus de 75% l'effet de l'âge, mais des travaux, portant en partie sur la mémoire de travail, montrent que le ralentissement

n'est qu'un indicateur d'un facteur plus général faisant intervenir le ralentissement de traitement, mais aussi les habilités sensorielles comme la vision ou l'audition [Salthouse et al., 1996b].

L'hypothèse sur le dysfonctionnement exécutif peut se rapprocher des deux autres hypothèses (vitesse de traitement et mémoire de travail), mais contrairement à celles-ci, le déclin du système nerveux serait sélectif au lieu d'être global pour les deux autres approches.

d) Les facteurs de variabilité du vieillissement cognitif

L'étude du vieillissement cognitif doit être très contrôlée au niveau du vécu de la personne âgée : les personnes âgées ayant des résultats similaires aux jeunes adultes sur des tâches de QI verbal lorsque l'on contrôle leur niveau d'étude en est l'exemple [Grégoire, 1993]. Le vécu de la personne n'est pas la seule variable à contrôler. Il est important de faire attention à son état physique et/ou son état de santé au moment du test, mais aussi à connaître son expérience aux domaines se rapportant au test. En effet, pour la santé, il faut soit prendre des précautions avec l'échantillonnage, soit vérifier statistiquement le facteur de celle-ci lorsque des tests sont réalisés et qu'ils visent à expliquer des phénomènes fondamentaux du vieillissement cognitif. Pour l'expérience acquise dans un domaine précis, elle est souvent plus significative que l'âge sur les performances [Charness et Campbell, 1988].

C. L'écran tactile

Dans la littérature internationale, le terme le plus utilisé est « *touchscreen* » que nous pouvons traduire littéralement par écran tactile. Deux parties se distinguent dans cette traduction : la partie écran et la partie tactile. Ces deux parties montrent qu'il est à la fois un périphérique d'entrée (la partie tactile) et un périphérique de sortie (la partie écran). Cette double casquette demande une double analyse lors du choix de la technologie à utiliser.

Il est important aussi de définir qu'est-ce que le tactile. En effet, par tactile, il est fait référence au sens tactile. Pour percevoir du sens au niveau du toucher, il faut un toucher direct entre le doigt et l'écran. Dans ce cas, l'intervention d'un dispositif se positionnant entre le doigt et l'écran n'est pas une interaction tactile : c'est le cas du stylet par exemple. Le tactile est par définition une interaction de type interaction directe. Il a par conséquent une charge cognitive moins importante qu'une interaction indirecte comme la souris et c'est pourquoi il est favorisé pour les personnes âgées [Wood et al., 2005].

L'écran tactile n'est pas une technologie récente au niveau de l'informatique. En effet, nous retrouvons les premières traces d'écran tactile dès 1972 avec le PLATO IV (Cf. Figure 10). Les écrans tactiles sont connus depuis de nombreuses années dans les lieux publics (bornes de réservation de la SNCF¹⁰, guichet bancaire, etc.), mais ils ont commencé à vraiment être utilisés dans le milieu professionnel avec les PDAs¹¹. Récemment, ils ont été démocratisés dans les foyers avec l'arrivée de l'iPhone d'Apple en 2007. Depuis, le tactile est à la mode et nous pouvons le rencontrer quasiment partout : que ce soit au niveau des téléphones, des imprimantes, des appareils photo, des tables de cuisson, des appareils électroménagers, des contrôles de l'environnement et plus récemment avec les tablettes tactiles comme l'iPad d'Apple.

Avant de décrire les différentes caractéristiques à prendre en compte dans le choix d'un écran tactile, un peu d'histoire s'impose pour mieux comprendre l'évolution de cette technologie.

1) L'écran tactile et son histoire

Le tactile est apparu très tôt par rapport à d'autres domaines des hautes technologies. La première application du tactile a été dans le domaine musical avec la création des premières touches (notes) sensibles en 1954 par Hugh Le Caine (Cf. Figure 9). Cette technologie a

¹⁰ SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français

¹¹ PDA : Personal Digital Assistant

permis de créer des nuances dans l'appui sur la note du clavier. Parallèlement au domaine de la musique, dans le domaine informatique, les premières inventions datent de 1971 avec la création du premier capteur tactile nommé « Elograph » et développé par le docteur Sam Hurst (fondateur d'Elographics portant le nom d'Elo TouchSystems aujourd'hui). Cette première version était opaque, mais a évolué pour donner un des systèmes tactiles les plus utilisés à ce jour : la technologie résistive à cinq fils datant de 1977.

En 1972, le tactile commence à se faire connaître avec les ordinateurs PLATO IV (Cf. Figure 10). Le Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) en 1977, en se basant sur des recherches de 1972 de Bent Stumpe sur les écrans à technologie capacitive, utilise cette technologie pour créer une nouvelle Interaction Homme Machine (IHM) dans la salle de contrôle du Super Synchrotron à Protons.



Figure 9 - Le mécanisme du clavier de l'orgue à touches sensibles¹²



Figure 10 - Le terminal à écran tactile du PLATO IV¹³

En plus des technologies résistives et capacitives, qui ont aussi quelques variantes, de nombreuses autres technologies tactiles ont été exploitées comme les ondes de surface (basées sur des ondes ultrasoniques), les jauges de contrainte, l'infrarouge avec comme exemple la réflexion totale ou FTIR (Frustrated Total Internal Reflection), etc. Toutes ces technologies ont différentes caractéristiques et répondent à des situations différentes. Les technologies ainsi que les caractéristiques seront détaillées plus tard (Cf. 2)).

¹² Image extraite du site <http://www.hughlecaine.com/images/tso3.jpg>

¹³ Image extraite du site

<http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/PLATO%20IV%20Touch.jpg>

L'évolution principale sur les écrans tactiles est l'ajout du « *multitouch* »¹⁴. Sa première apparition remonte à 1982 avec le travail de thèse de Nimish Mehta à l'Université de Toronto. La technologie employée repose sur de la reconnaissance visuelle des doigts à partir d'une caméra. Dans les deux ans qui suivent, les laboratoires Bell disposent d'une surface tactile inventée par Bob Boie considéré comme le « premier écran tactile *multitouch* » par Buxton. La même année, Bell par l'intermédiaire de Leonard Kasday dépose un brevet sur le *multitouch* basé cette fois-ci sur des techniques optiques [Kasday, 1984]. En 1985, Bill Buxton développe une table tactile *multitouch* à base de technologie capacitive [Lee et al., 1985]. En 1991, Pierre Wellner du Xerox Parc présente le Digital Desk [Wellner, 1991] montrant différentes interactions réalisables avec le *multitouch* et reprises très largement aujourd'hui (Cf. Figure 11 et Figure 12). De nombreuses autres études sur les interactions *multitouch* ont eu lieu comme le *Portfolio Wall* (Cf. Figure 13) qui a montré pour la première fois le geste de *flick* (lancer sur la gauche ou la droite utilisé pour les déplacements dans les listes musicales ou photos de l'iPhone). D'autres technologies *multitouch* ont été créées comme la table Diamond Touch du Mitsubishi Research Labs ou le SmartSkin des laboratoires de recherche de Sony [Rekimoto, 2002] (Cf. Figure 14).

¹⁴ Anglicisme du terme parfois traduit en France par Multipoint. Comme le terme anglais reste usuellement utilisé, nous utiliserons ce terme tout le long de la thèse.

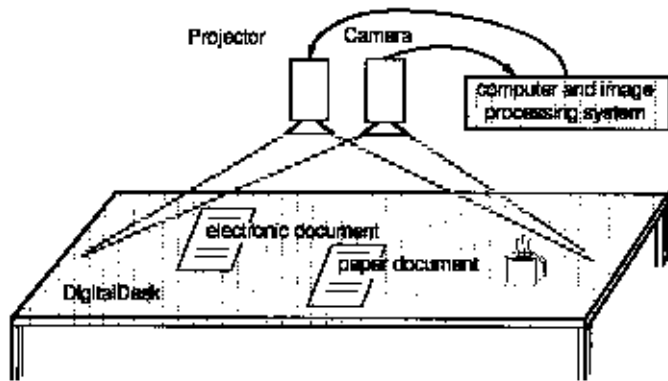


Figure 11 - Disposition des éléments constituant le Digital Desk¹⁵



Figure 12 - Exemple de manipulation sur le Digital Desk¹⁶



Figure 13 - L'interaction Flick sur le Portfolio Wall¹⁷



Figure 14 - La surface interactive basée sur le SmartSkin¹⁸

Le premier système commercial se basant sur le *multitouch* est le Lemur de Jazzmutant en 2003 (Figure 15). Il a été suivi par l'iPhone d'Apple (Figure 16) et la table Surface de Microsoft en 2007 (Figure 17). Les premiers ordinateurs personnels à être équipés d'une surface tactile *multitouch*, sortis en 2008, ont été les Tablet PC à base de N-Trig permettant à la fois le *multitouch* et l'utilisation d'un stylet (Figure 18). Depuis de nombreux systèmes comme les téléphones portables, les tablettes tactiles ou d'autres types d'appareils utilisent *multitouch*. Ils utilisent des technologies adaptées à leur marché pour répondre aux besoins des utilisateurs. Ils ont chacun un mode de fonctionnement bien distinct entraînant avantages et inconvénients.

¹⁵ Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/ubicomp11sm.gif>

¹⁶ Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/ubiVid13sm.jpg>

¹⁷ Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/PWflickSm.jpg>

¹⁸ Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/jun.jpg>



Figure 15 - Le Lemur de Jazzmutant¹⁹



Figure 16 - L'iPhone 3 d'Apple²⁰



Figure 17 - La table Surface de Microsoft²¹



Figure 18 - Le système N-Trig²²

2) Le fonctionnement des technologies tactiles

Il existe plusieurs technologies permettant d'utiliser le tactile comme moyen d'interaction. Celles-ci ont un mode de fonctionnement très différent et par conséquent donnent des caractéristiques différentes qui en découlent en avantages et en inconvénients. Toutes les technologies utilisées dans le domaine du tactile ne sont pas *multitouch* mais elles seront présentées pour la plupart pour avoir un aperçu des différents choix technologiques possibles. Les deux premières technologies présentées sont les plus utilisées à l'heure actuelle. Ce sont

¹⁹ Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/lemur.jpg>

²⁰ Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/iPhone3sm.jpg>

²¹ Image extraite du site

http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/MS_SC_CollabPhotoAppSm.jpg

²² Image extraite du site <http://www.billbuxton.com/MultitouchAssets/ntrigSM.jpg>

les technologies capacitives et résistives. La première est très utilisée dans les téléphones tactiles. La seconde est utilisée depuis de nombreuses années dans les différentes bornes publiques et sur les PDAs. Après la présentation de ces deux technologies, d'autres technologies sont présentées.

a) La technologie capacitive

La technologie capacitive repose sur le principe d'une structure en deux couches : une couche conductrice et une couche isolante comme la plaque de verre de l'écran. L'humain faisant office de conducteur, lorsqu'il touche la couche isolante, crée une distorsion dans le champ électrostatique. Ce qui permet aux capteurs de récupérer un changement de capacité. Un contrôleur s'occupe, à partir de ces changements de capacité, de calculer et d'envoyer la position de l'appui réalisé par l'utilisateur (Cf. Figure 19).

La couche conductrice peut être réalisée à l'aide de différents matériaux comme le cuivre, l'oxyde d'indium-étain (ou ITO pour *Indium Tin Oxide*) ou l'encre imprimée. Actuellement, l'élément le plus employé est l'ITO.

Il existe deux technologies se basant sur le capacitif. Le positionnement et le nombre de capteurs définissent le type de technologie utilisée :

- Lorsque quatre capteurs sont positionnés sur les coins de la zone tactile, la technologie est dite « capacitif de surface ». Cette solution est moyennement durable et manque de précision de localisation. Elle est plus sujette aux capacités parasites et demande un calibrage durant la fabrication ;
- L'autre type de positionnement de capteur est dite technologie « capacitif projeté ». Il positionne ses électrodes sur une grille. Les avantages sont une meilleure précision et la possibilité de rajouter une surface de protection devant. Il est possible d'utiliser des gants en fonction de l'implémentation et du réglage des gains des électrodes. Il existe deux techniques pour mesurer la position de l'appui :
 - o La capacité mutuelle mesurée par un condensateur à chaque intersection des lignes et des colonnes. Un courant est envoyé à chaque ligne et colonne et permet de mesurer avec précision la position de l'appui voire de plusieurs appuis ;
 - o La capacité relative, qui peut aussi avoir la même grille que pour la capacité mutuelle, a les lignes et les colonnes indépendantes. Cette méthode produit un signal plus important que la capacité mutuelle, mais limite l'interaction à un seul doigt.

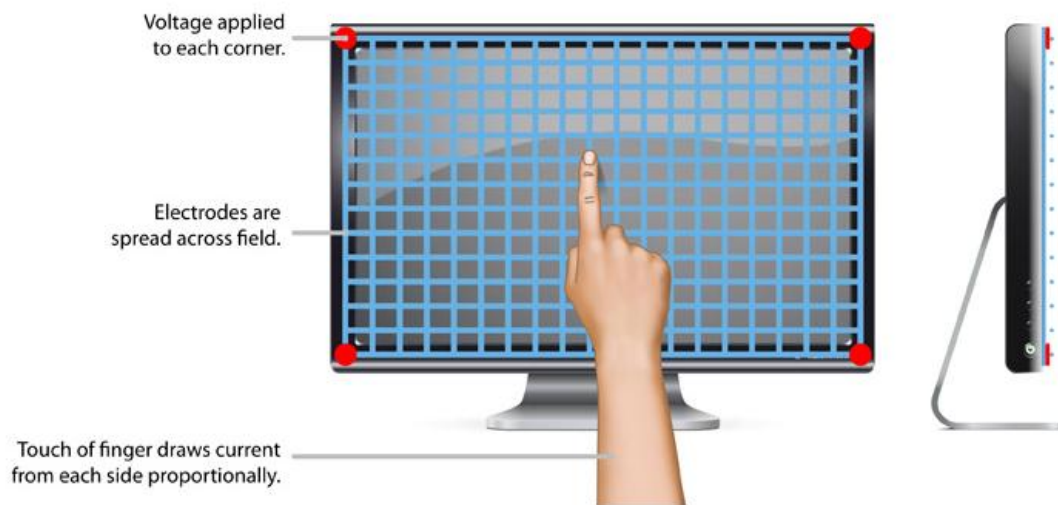


Figure 19 - Représentation d'un écran capacitif par la société NextWindow²³

Cette technologie a comme avantages de permettre un bon passage de la lumière (de l'ordre de 90%); une bonne réactivité et une bonne sensibilité (pas besoin de pression pour que le contact soit détecté). C'est une technologie dans le cas d'un écran capacitif projeté qui permet le *multitouch*.

Elle a par contre des désavantages comme un coût de fabrication assez important, une limitation aux supports d'interaction possible : principalement le doigt, des stylets conducteurs et des gants légers ; une précision très variable de moyenne à bon suivant la technologie capacitive choisie ; et une limitation de la taille de la zone tactile.

b) La technologie résistive

La technologie résistive repose sur le principe de deux couches conductrices espacées par des cales microscopiques (Cf. Figure 20). Le matériau utilisé pour conduire le courant est généralement de l'ITO. Un courant induit parcourt les deux couches. Lors d'une pression sur l'écran, les 2 couches sont en contact et créent une variation dans le champ électrique permettant de fournir au contrôleur les informations nécessaires pour déterminer la position de l'appui.

Le principe des deux couches conductrices entraîne une usure dans le temps et crée un déséquilibre dans la détection de la position de l'appui. C'est pour cela qu'il faut

²³ Image extraite du site <http://www.nextwindow.com/assets/img/optical/capacitive.jpg>

régulièrement réaliser une nouvelle calibration de l'écran. Ce nouveau calibrage consiste à répartir les erreurs des régions usagées sur toute la surface afin de masquer l'usure. Son fonctionnement d'une activation sur la pression permet l'utilisation de n'importe quel objet pouvant servir d'élément de pointage.

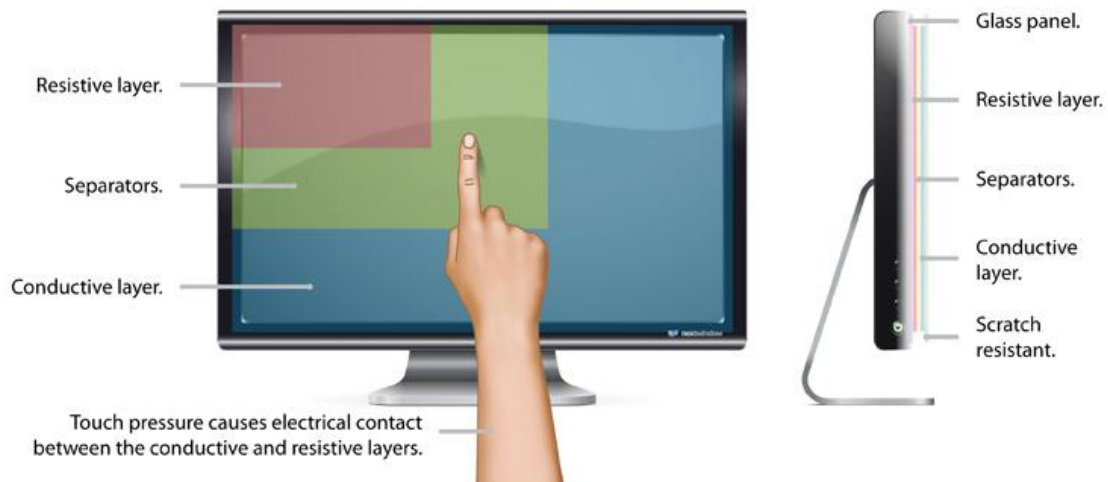


Figure 20 - Représentation d'un écran résistif par la société NextWindow²⁴

Cette technologie a comme avantages de permettre un pointage très précis, une utilisation très libre de l'élément servant à pointer et un coût de production faible. Il existe aussi des écrans résistifs *multitouch* tel le Lemur de Jazzmutant (Cf. Figure 15).

Elle a comme désavantages une fragilité plus importante que les autres surfaces tactiles, une opacité de la lumière transmise par l'écran plus importante que les autres surfaces, une moins bonne sensibilité, car elle demande un appui plus prononcé et une rapidité de détection plus lente que le capacitif.

c) La technologie à ondes de surface

La technologie à ondes de surface repose sur le principe d'ondes ultrasoniques parcourant toute la surface de l'écran (Cf. Figure 21). Lorsque l'écran est touché, une portion du signal acoustique est absorbée. Cette absorption est mesurée et transmise au contrôleur qui calcule et renvoie la position de l'appui. À cause de cette conception à base d'ondes acoustiques, le moindre changement au niveau de la surface (comme une rayure, une poussière ou une tâche) entraîne un changement de la réception au niveau des capteurs acoustiques. Ceci a pour conséquence la détérioration de la qualité de restitution de la position de l'appui, car le

²⁴ Image extraite du site <http://www.nextwindow.com/assets/img/optical/resistive.jpg>

contrôleur n'est pas capable de corriger la modification acoustique. Dans ce cas, une nouvelle calibration est obligatoire.

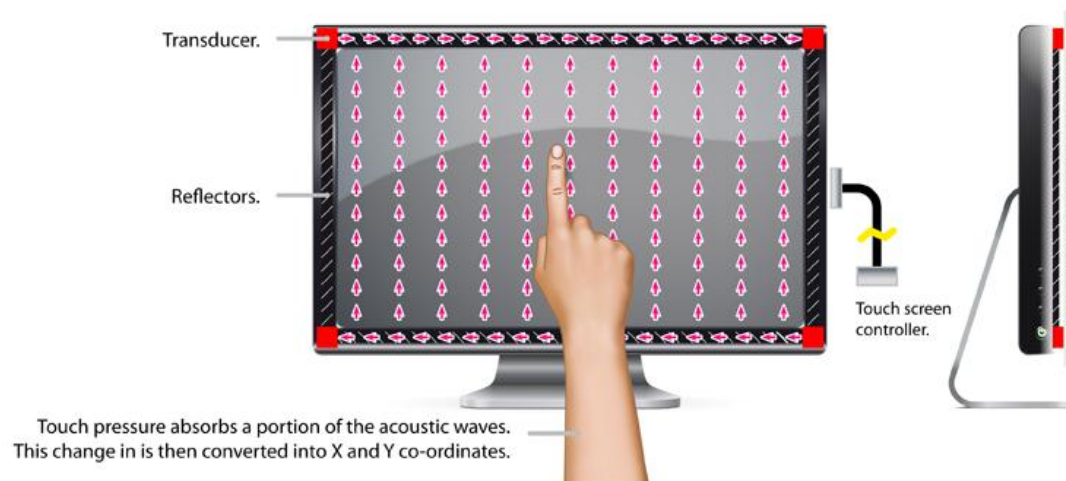


Figure 21 - Représentation d'un écran à ondes de surface par la société NextWindow²⁵

Cette technologie a comme avantages une bonne transmission de la lumière, une bonne précision et une détection de la pression exercée.

Elle a comme désavantages une qualité de reconnaissance très dépendante de la qualité de sa surface. Il existe cependant des évolutions chez Elo TouchSystems et 3M qui permettent de passer outre les problèmes de surface. Ils permettent l'utilisation des doigts, des gants et des stylets. Cette technologie n'est pas capable de détecter les objets immobiles contrairement aux autres.

d) La technologie à jauges de contrainte

La technologie à jauges de contrainte repose sur le positionnement de quatre capteurs situés dans les coins permettant de détecter lors de l'appui sur l'écran la force exercée. À partir de la récupération de la force sur les quatre capteurs, les informations sont fournies au contrôleur et lui permettent de calculer la position de l'appui. Cette technologie permet grâce à son principe l'utilisation de n'importe quel élément de pointage. Elle permet aussi de détecter la pression exercée.

Cette technologie a été utilisée dès les années 1960 en recherche, mais n'a été optimisée pour être commercialisable que récemment par Vissumo et F-Origin.

²⁵ Image extraite du site <http://www.nextwindow.com/assets/img/optical/saw.jpg>

Cette technologie a comme avantages une très forte résistance aux maltraitements ce qui fait qu'elle est utilisée pour sa résistance aux actes de vandalisme. Elle a aussi une capacité à détecter la force exercée et une possibilité d'utilisation avec de nombreux éléments de pointage.

Elle a comme désavantages une obligation d'appuyer un minimum sur l'écran pour détecter le contact et une faiblesse dans des milieux à fortes vibrations.

e) La technologie infrarouge

La technologie infrarouge repose sur plusieurs solutions. Il en existe de nombreuses et peut être basé sur un réseau d'émetteurs et de capteurs, une réflexion totale (ou FTIR) ou une illumination diffuse (ou DI pour Diffused Illumination). D'autres solutions utilisant la technologie infrarouge sont dites optiques. Chacune des techniques repose sur un fonctionnement bien distinct, ce qui entraîne des avantages et inconvénients différents.

Le réseau d'émetteurs et de capteurs infrarouges se base sur une disposition en grille et la détection d'un appui se fait par coupure du faisceau infrarouge. Les émetteurs et les phototransistors sont situés tout autour de l'écran (Cf. Figure 22).

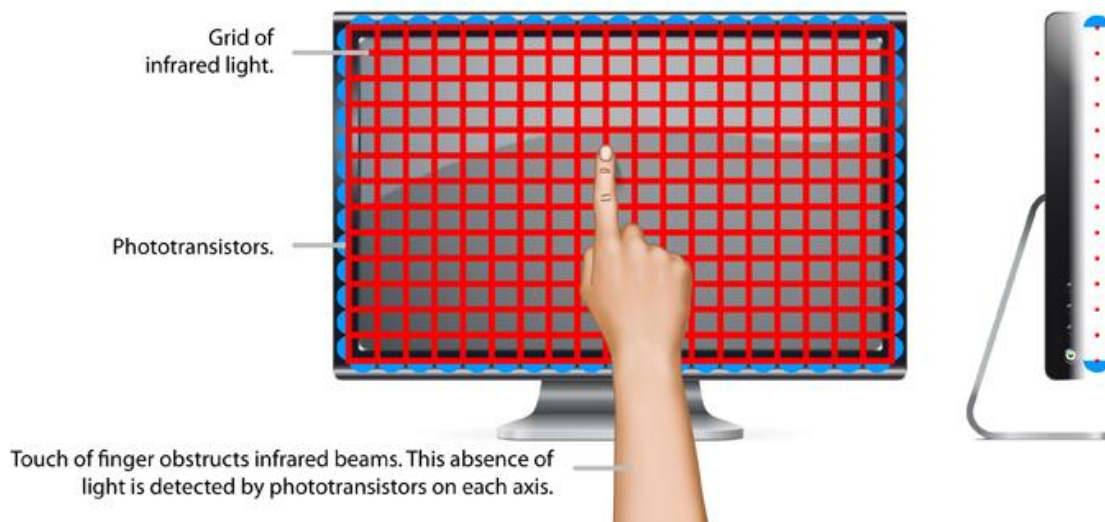


Figure 22 - Représentation d'un écran infrarouge par la société NextWindow²⁶

Les avantages de cette technologie sont qu'elle peut être utilisée avec n'importe quel objet faisant office de pointeur, qu'elle permet une transmission de la lumière complète, qu'elle est stable dans le temps et ne nécessite pas de nouvelle calibration, qu'elle est très résistante et qu'elle permet une utilisation pour des solutions à très grands écrans.

²⁶ Image extraite du site <http://www.nextwindow.com/assets/img/optical/infrared.jpg>

Les désavantages sont un coût élevé, une faiblesse avec les poussières et une faiblesse à une lumière directe du soleil.

La technologie FTIR consiste à utiliser des diodes infrarouges placées tout au bord d'une plaque de plexiglas (Cf. Figure 23). En choisissant des diodes avec un angle d'émission défini permettant une réflexion totale dans la plaque de plexiglas, les rayons produits par les diodes restent bloqués à l'intérieur de la plaque. Lorsque le doigt se pose sur la plaque, l'angle d'incidence des rayons change et ceux-ci peuvent sortir de la plaque. Une caméra filmant le spectre infrarouge située sous la plaque permet de traiter l'information pour situer l'appui.

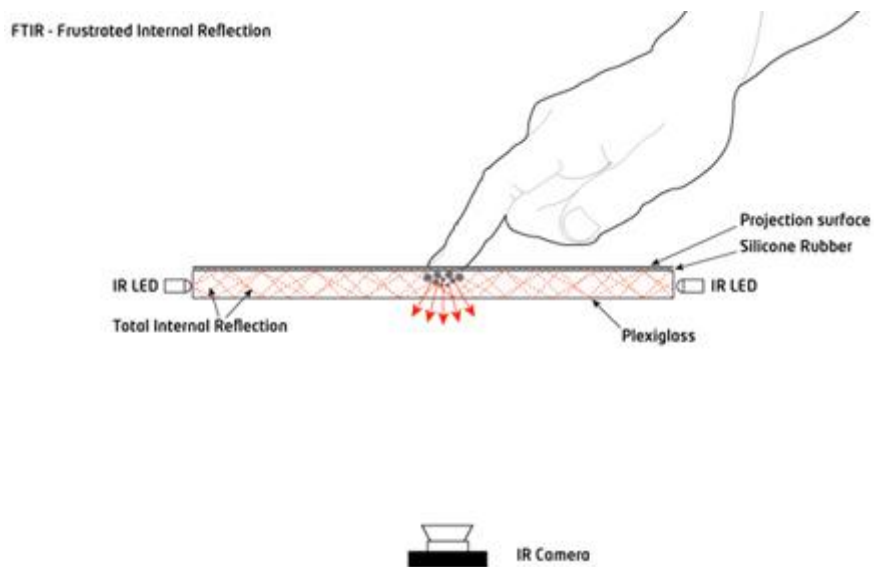


Figure 23 - Représentation d'un écran FTIR²⁷

Les avantages de cette technologie sont un coût de production modéré tout en permettant de grandes tailles. Le principe des diodes permet une utilisation de n'importe quel type d'objet permettant de pointer. La caméra utilisée permet de rajouter la reconnaissance d'objets qui n'était pas possible avec les autres technologies.

Les désavantages sont une impossibilité d'en faire un dispositif portable, une pression minimale requise afin d'avoir assez de contact sur la plaque de plexiglas pour renvoyer assez de rayons, une faiblesse à la lumière directe du soleil qui comporte des infrarouges, une difficulté de reconnaissance en cas de présence de corps gras ou humide sur la dalle à cause d'un changement dans la réflexion des rayons.

La technologie à illumination diffuse (DI) se base sur le même couplage que la technologie FTIR : une caméra et des diodes infrarouges. La différence se porte au niveau du placement des diodes : elles sont mises dans des projecteurs infrarouges situés sous la dalle. Lorsque

²⁷ Image extraite du site <http://wiki.nuigroup.com/images/f/f7/Ftir.jpg>

l'utilisateur touche la dalle, les rayons infrarouges sont reflétés au niveau de la dalle permettant à la caméra de situer l'appui. Un ordinateur s'occupe de transformer les informations de la caméra en coordonnées (Cf. Figure 24).

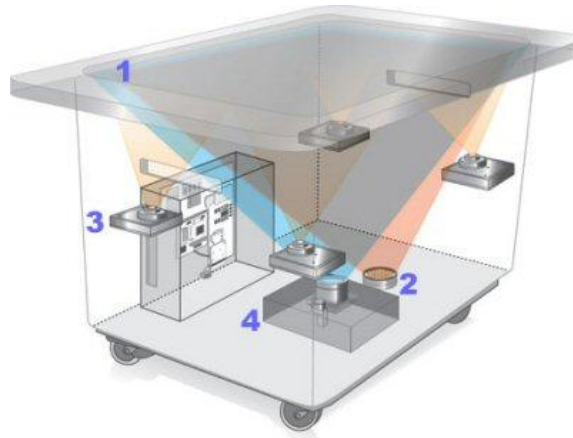


Figure 24 - Représentation de la technologie à illumination diffuse²⁸

Les avantages de cette technologie sont la possibilité d'être utilisée pour de grands écrans, l'utilisation de n'importe quel objet faisant office de pointeur, la possibilité de reconnaître des objets par l'intermédiaire d'une reconnaissance de forme et la possibilité de détecter des objets proche de la dalle, mais ne la touchant pas.

Les désavantages sont une impossibilité à être intégré dans un dispositif mobile, un coût élevé, une faiblesse à la lumière directe du soleil qui comporte des infrarouges et des problèmes de fausses détections d'objets proches de la surface de la dalle, mais qui ne la touchent pas.

D'autres technologies dites optiques se basent sur l'infrarouge comme source lumineuse. Une fibre est placée tout autour de l'écran et est alimentée en lumière par des diodes infrarouges. Cette fibre fait office de barrière émettrice active et permet d'avoir une source lumineuse uniforme tout autour de l'écran. Pour récupérer l'information, il existe deux méthodes : « *in-plane* » et « *out-of-plane* ».

Dans la méthode *in-plane*, au moins deux ou plus caméras linéaires filment les ombres créées par les appuis et par triangulation fournissent la position des appuis. Ces caméras sont placées dans les coins (Cf. Figure 25). Dans le cas d'une utilisation *multitouch*, la méthode utilise quatre caméras.

²⁸ Image extraite du site <http://www.docteur.com/wp-content/uploads/2008/10/microsoft-surface-diagram.jpg>

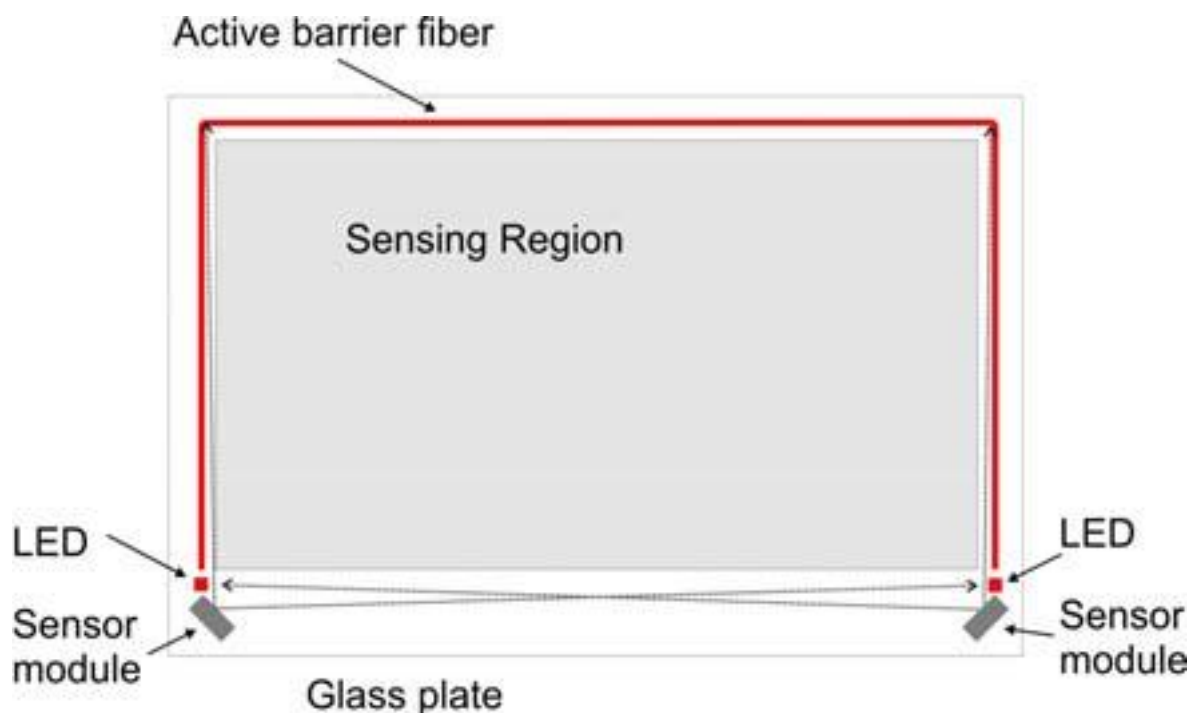


Figure 25 - Représentation d'un écran tactile à technologie optique par la société Tactyl-Services²⁹

Les avantages de cette technologie sont une possibilité d'être utilisé pour de très grands écrans, un rapport taille/prix très bas comparativement aux autres solutions, une possibilité d'utilisation de n'importe quel objet pouvant servir de pointage, une activation qui ne nécessite pas de pression.

Son principal désavantage est la complexité des algorithmes pour gérer le *multitouch* avec la triangulation.

Dans la méthode *out-of-plane*, les caméras utilisées filment cette fois-ci deux dimensions et non une seule. Elles sont situées en dessus ou en dessous de la surface d'interaction.

Les avantages de cette technologie sont comme pour la méthode *in-plane*, une possibilité d'utilisation pour de très grands écrans, une possibilité d'utilisation de n'importe quel objet pouvant servir de pointage et une activation qui ne nécessite pas de pression. Elle est facilement adaptable pour gérer le *multitouch*.

Ses désavantages sont un coût plus élevé que la solution *in-plane*, une fréquence d'images fournies plus basse entraînant une augmentation du temps de réponse et la nécessité d'avoir une vue dégagée suivant la solution choisie (caméra au-dessus ou au-dessous).

²⁹ Image extraite du site : http://www.tactyl-services.com/images/Produits/DalleTactile/Picture%20Lumio%20White%20Paper/touch%20screen%20white%20paper%204_img_0.jpg

3) Les caractéristiques d'un écran tactile

Les caractéristiques d'un écran tactile sont divisées en deux parties : les caractéristiques tactiles et celles de l'écran. La combinaison de ces deux types de technologie crée une quantité importante de spécificités pour chacun des écrans tactiles. Il est donc utile de connaître ses différentes spécificités afin de bien choisir l'écran tactile voulu.

J'ai basé la classification des caractéristiques sur un tableau proposé par la société Elo TouchSystems³⁰ que j'ai augmenté afin de prendre en compte quelques problématiques supplémentaires et les informations concernant l'écran.

Nous pouvons classer les caractéristiques de la partie tactile en six grandes parties :

- Les performances qui comprennent la latence ou temps de réponse, la gestion de la force de l'appui, la précision, la stabilité de la calibration, la qualité du glisser, le nombre d'appuis simultanés possibles ;
- La flexibilité aux différents types d'entrées qui peuvent être utilisés comme les doigts, les gants, les ongles, les stylets à pointe dure ou molle, les paumes de la main, etc.
- Les qualités optiques comme le taux de transmission de la lumière, les reflets et le maintien des couleurs de l'affichage ;
- Les possibilités d'intégration dans un support ;
- Les qualités électriques comme une basse consommation, une immunité aux champs magnétiques ou électriques et une basse émission électrique ;
- Les qualités de résistance environnementale comme les résistances à la température, à l'humidité, aux chocs et aux vibrations, à l'altitude, aux produits chimiques, aux liquides, aux milieux salés, aux rayures, aux ultraviolets, à une forte lumière et enfin la durabilité.

Pour la partie écran, les caractéristiques diffèrent :

- Les performances avec le taux de rafraîchissement, le taux de latence, le nombre d'images de retard, le nombre de couleurs affichables, le taux de contraste, la luminosité, l'homogénéité de l'éclairage de la dalle, la restitution fidèle des couleurs, le pitch³¹, la résolution, etc. ;

³⁰ http://www.elotouch.com/Resources/compare_all.asp

³¹ Le pitch correspond à la distance en millimètres entre deux pixels.

- Les qualités fonctionnelles comme la taille de l'écran, son poids, la possibilité d'un mode pivot, la possibilité d'inclinaison ;
- Les qualités optiques comme l'angle de vision et les reflets ;
- Les qualités électriques comme une basse consommation, un mode veille efficace, la résistance aux champs magnétiques ou électriques ;
- Les qualités de résistance environnementale comme les résistances à la température, à l'humidité, aux chocs et aux vibrations, à l'altitude, aux produits chimiques, aux liquides, aux milieux salés, aux rayures, aux ultraviolets, à une forte lumière et enfin la durabilité.

Les tableaux Tableau 1 et Tableau 2 montrent un comparatif non exhaustif de solutions à base d'écran tactile. Il n'est pas complet, car le domaine du tactile est en pleine évolution et de nouveaux systèmes avec écrans tactiles sortent régulièrement. Tous les systèmes présentés dans ces tableaux sont *multitouch* limitant par la même occasion la technologie tactile employée. Ces tableaux ne rapportent que les informations liées aux écrans tactiles et encore se limitent principalement aux caractéristiques de performances. Il ne compare en rien les systèmes au niveau de leurs autres matériels ou logiciels.

Tableau 1 - Comparatif des écrans tactiles appartenant aux familles des téléphones et des tablettes

Type d'appareil	Téléphone			Tablette		
Modèle	Apple iPhone	Samsung Galaxy S	Blackberry Torch 9800	Apple iPad	Samsung Galaxy Tab	Dell Latitude XT2
Informations sur la surface tactile						
Technologie tactile	Capacitif projeté	Capacitif projeté	Capacitif projeté	Capacitif projeté	Capacitif projeté	Capacitif projeté
Nombre de points	11	16	10	11	16	4
Temps de réponse	?	4 ms	?	?	4 ms	8 ms
Précision	?	?	1 mm	?	?	2,5 mm
Type de contact	Doigt, Stylet, Gant fin	Doigt, Stylet, Gant fin	Doigt, Stylet, Gant fin	Doigt, Stylet, Gant fin	Doigt, Stylet, Gant fin	Doigt, Stylet, Gant fin
Constructeur/Modèle dalle tactile	TPK ou Balda / ?	Amtel / maXTouch	Synaptics / Clearpad 3000	Wintek / ?	Amtel / mxt224	N-Trig / DuoSense
Informations sur la partie affichage						
Technologie dalle	IPS	Super AMOLED	?	IPS	PVA	TN
Taille	3,5 pouces	4 pouces	3,2 pouces	9,7 pouces	7 pouces	12,1 pouces
Définition	960*640	800*480	480*360	1024*768	1024*600	1280*800
Nombre de couleurs	16,7 M (technologie IPS)	16,7 M (technologie AMOLED)	16,7 M (constructeur)	16,7 M (technologie IPS)	16,7 M (technologie PVA)	16,7 M (constructeur)
Angle de vision (horizontal/vertical)	178° / 178° (technologie IPS)	180° / 180° (technologie AMOLED)	?	178° / 178° (technologie IPS)	178° / 178° (technologie PVA)	170° / 160° (technologie TN)
Contraste	870 (mesuré)	Infini (mesuré)	1150 (mesuré)	760 (mesuré)	589 (mesuré)	535 (mesuré)
Temps de réponse	?	?	?	?	?	?
Luminosité	?	?	?	190 (mesuré)	?	180 (mesuré)

Tableau 2 - Comparatif des écrans tactiles appartenant aux familles d'ordinateur de bureau et de table interactive

Type d'appareil	Écran de bureau		Table		
Modèle	Iiyama T2250MTS	3M M2256PW	Microsoft Surface	Immersion iLight	PQ Labs G ³ Plus
Informations sur la surface tactile					
Technologie tactile	Optique	Capacitif projeté	FTIR	FTIR	Optique
Nombre de points	2	20+	?	Illimité	32
Temps de réponse	?	6 ms	?	?	7 à 12 ms
Précision	?	?	?	?	1,5 mm
Type de contact	Doigt, Stylet	Doigt, Stylet, Gant fin	Doigt, Paume, Gant	Doigt	Doigt, Paume, Main, Gant, Stylet
Constructeur dalle tactile	?	3M	Microsoft	Immersion	PQ Labs
Informations sur la partie affichage					
Technologie dalle	TN	P-MVA	Vidéoprojecteur DLP	Vidéoprojecteur	Dépend de l'écran associé
Taille	22 pouces	22 pouces	30 pouces	47 pouces	
Définition	1920*1080	1680*1050	1024*768	1400*1050	
Nombre de couleurs	16,7 M	16,7 M	16,7 M	16,7 M	
Angle de vision (horizontal/vertical)	170° / 160°	178°	?	?	
Contraste	1000	1000	?	?	
Temps de réponse	5 ms	8 ms	?	?	
Luminosité	260 cd/m ²	260 cd/m ²	?	?	

4) Comment choisir sa surface ou son écran tactile

Le choix d'une surface tactile se fait avant tout sur les besoins réels. Autant définir les besoins pour un test particulier est assez facile ; autant pour différents tests dont certains ne sont pas complètement définis, le choix est beaucoup plus dur.

Pour mieux choisir sa surface tactile, je propose un petit guide à suivre. Il ne répondra peut-être pas à toutes les situations, mais devrait quand même permettre de choisir plus facilement son écran tactile. Il est évident qu'avec l'émergence actuelle de nombreux produits dans le domaine, ce guide évoluera probablement.

À la suite de ce guide, nous montrons un exemple du choix de l'écran tactile que nous avons utilisé pour réaliser nos tests.

a) Guide d'aide au choix d'un écran tactile

Un guide a pour but de conseiller un produit plutôt qu'un autre afin de répondre à un besoin précis. La meilleure façon de choisir un produit est de procéder par tri avec des filtres prioritaires. Pour pouvoir réaliser un tri avec ces filtres, il faut d'abord bien identifier les réels besoins. Pour cela, les différentes caractéristiques précitées et les deux tableaux (Tableau 1 et Tableau 2) peuvent aider à définir les caractéristiques essentielles faisant office de besoin.

Le gros problème de tout guide se basant sur des filtres est que la qualité des filtres est dépendante de la possibilité de récupérer les informations que cela soit des constructeurs ou mieux de tests de laboratoires suivant un protocole sérieux. En effet, il est courant de voir des chiffres gonflés pour faire de meilleures ventes. Le problème du manque d'informations est bien visible dans le Tableau 1 et le Tableau 2 où des cases sont remplies avec des points d'interrogation, car nous n'avons pas pu trouver ces informations.

Dans certains cas, il est très difficile d'avoir des filtres bien choisis, soit parce que les objectifs ne sont pas bien définis et que les caractéristiques à filtrer ne sont pas connues, soit par l'impossibilité de définir une hiérarchie dans les priorités des filtres.

Globalement, il est intéressant de suivre l'ordre de filtre suivant lorsque le choix des caractéristiques ou de la hiérarchie n'est pas connu :

1. Définir la taille de la surface ou de l'écran tactile nécessaire : ce choix va orienter le type de technologie à utiliser et définir la portabilité du système ;
2. Définir les objets qui seront nécessaires pour l'utilisation de la surface tactile. Comme pour la taille, ce choix va orienter le type de technologie à utiliser. Les objets peuvent être un stylet ou bien l'utilisation de gants, mais aussi l'utilisation de plusieurs doigts. Il peut aussi être nécessaire de détecter les paumes des mains pour éviter de fausses détections ;
3. Définir les conditions d'utilisation de l'écran : le système peut avoir besoin d'être résistant à des produits chimiques, aux reflets provoqués par le soleil, être à l'extérieur ou en intérieur, etc. Il peut aussi être utilisé en même temps par plusieurs personnes demandant des angles de vision large. Ce choix va définir la technologie la plus adaptée que cela soit pour la partie tactile ou pour la partie affichage.

Avec ces trois étapes de filtrage, le nombre d'écrans tactiles répondant à tous ces filtres devrait être assez réduit. Cependant, ce guide peut être utile pour le choix d'un écran tactile, mais il ne prend pas en compte d'autres problèmes qui peuvent intervenir dans le choix du

système. Par exemple, pour des besoins spécifiques, une autonomie maximale de l'appareil peut être le critère principal et par conséquent réduire l'intérêt de telle ou telle solution tactile.

b) Cas d'étude : le choix de notre solution tactile

Avant de commencer à suivre le guide, il faut se repositionner temporellement. Le choix de la solution tactile s'est fait en mai-juin 2009 ce qui a limité notre choix à certaines solutions qui sont beaucoup plus ouvertes aujourd'hui. Nous avons deux critères principaux : la taille de l'écran et la possibilité d'utiliser du *multitouch*.

1. Le choix de la taille de l'écran doit vérifier deux conditions. Pour la première condition, nous avons besoin d'une solution portable : nous effectuons nos tests dans plusieurs lieux différents et pour faciliter les tests, une solution portable est beaucoup plus facile à déplacer qu'un ordinateur de bureau et/ou une table tactile. Ce choix entraîne une limitation de la taille de l'écran à un maximum de 17 pouces. Une autre condition est que nous voulons étudier les interfaces et les interactions sur un écran de taille proche d'une utilisation courante sur machine de bureau et non sur un appareil de taille PDAs ou Smartphone. Cette autre condition réduit le choix de taille d'écran entre 10 et 17 pouces ;
2. Pour les objets d'interaction avec la surface tactile, nous avons au moins besoin de la gestion du *multitouch* : certains tests que nous réalisons portent sur l'utilisation de plusieurs doigts ce qui oblige l'utilisation d'une surface *multitouch*. La possibilité d'utiliser un stylet est un plus, mais n'est pas une obligation.

À la fin des deux premiers filtres, seulement deux solutions subsistaient : le Latitude XT2 de Dell et le TouchSmart tx2 d'HP. Ces deux systèmes sont assez identiques, car se reposant sur le système DuoSense de N-Trig pour le tactile et sur un écran de 12,1 pouces. Ce système permet l'utilisation de plusieurs doigts et d'un stylet.

Le TouchSmart n'étant plus disponible à ce moment-là, il ne restait que le Latitude XT2 en choix.

C'est pourquoi nous avons choisi le Latitude XT2 comme solution pour la réalisation de nos tests.

D. Les systèmes de gérontechnologies basés sur le tactile

Le domaine de la gérontechnologie, ou domaine des technologies adaptées aux personnes âgées, est un domaine très vivant depuis ces dernières années. La prévision d'une proche explosion démographique des personnes âgées a entraîné de nombreuses sociétés à se créer ou à s'ouvrir vers ce domaine encore très peu développé.

De nombreux systèmes sont créés et répondent à des besoins divers et variés comme la santé, les transports, la communication, le divertissement, la nutrition, etc. Ces besoins proviennent directement des demandes des personnes âgées. Pour la plupart de ces besoins, les personnes âgées sont prêtes à les payer s'ils sont faciles à utiliser, qu'ils simplifient leur fonctionnement de vie et qu'ils ne sont pas trop cher [Mikkonen et al., 2002]. C'est les raisons pour lesquelles de nombreuses sociétés se lancent sur ce créneau.

Les personnes âgées sont favorables à l'aide à domicile informatisée à condition qu'elle les aide au niveau de leur santé. Principalement au niveau de la télémédecine [Kaldoudi et al., 2009]. Elles sont aussi favorables à un système portable informatisé (PDAs, Smartphone) dans le cas où celles-ci ont besoin d'une surveillance régulière au niveau de leur pathologie [Lorenz et al., 2007] [Bhachu et al., 2008]. [Gowans et al., 2004] montre qu'un ordinateur peut faire office de prothèse cognitive pour les personnes atteintes de démence et qu'il est à la fois accepté par les personnes âgées et à la fois par les aidants.

Dans ces systèmes informatisés, le tactile a une place de choix dans la modalité d'interaction : [Gowan et al., 2004] montre que le tactile facilite l'interaction, [Bhachu et al., 2008] que l'iPod touch par son côté tactile intéresse les personnes âgées, [Piper et al., 2010] que le tactile est moins oppressant et qu'il est bien adapté au maintien à domicile à la fois par les personnes âgées et à la fois par les aidants. Ce dernier point est très important, car les aidants font partie du processus d'un bon maintien à domicile. Leur permettre une bonne interaction est tout aussi important pour l'acceptabilité du système.

Le tactile ne peut pas être utilisé de la même manière qu'une interaction à la souris. Par exemple, Windows n'a pas été conçu pour une utilisation tactile, ce qui pose des problèmes dans certaines situations. [Lorenz et al., 2007] montre la nécessité de bien régler la quantité d'informations présentes à l'écran. Les personnes âgées aiment bien avoir un nombre d'informations plus important que le minimum, mais ce nombre ne doit pas être trop important pour ne pas surcharger l'interface. Des recherches sur l'optimisation de

l'interaction pour les personnes âgées ont été réalisées. Par exemple, la taille des éléments est très importante pour une bonne utilisation par des personnes âgées [Jin et al., 2007], les appuis sont à favoriser plutôt que le glisser-déposer [Wood et al., 2005].

Ces quelques recherches montrent que le tactile est une bonne interaction pour la construction de systèmes à l'usage des personnes âgées. Cette observation est confirmée par le nombre de solutions commerciales tactiles proposées pour les personnes âgées. Nous pouvons citer les produits suivants classés par ordre alphabétique : E-Sidor (Cf. Figure 26), EtiBox (Cf. Figure 27), Magui (Cf. Figure 28), Ordimemo (Cf. Figure 29), Ordissimo (Cf. Figure 30) et Wizz-Box.



Figure 26 - L'E-Sidor de la société ISIDOR³²



Figure 27 - L'EtiBox de la société EBL³³

³² Image extraite du site http://www.e-sidor.fr/wp-content/uploads/2009/06/ordi_clavier-persp_photo-150x150.png

³³ Image extraite du site <http://www.etiboxlife.fr/theme/images/EtiBox.png>



Figure 28 - L'ordinateur Magui de la société SIMPLISTAY³⁴



Figure 29 - L'Ordimemo EEE TOP 1610 de la société DOSSIER SYSTEMES³⁵



Figure 30 - L'Ordissimo « Tout-en-un » de la société SUBSTANTIEL³⁶

Tous ces systèmes ont des fonctionnalités différentes (Cf. Tableau 3) mais répondent globalement à l'objectif de faciliter au maximum l'interaction avec la machine avec deux problématiques principales : l'ouverture de la communication avec la famille et le visionnage de photos.

³⁴ Image extraite du site http://www.magui.fr/document/magui_commun.jpg

³⁵ Image extraite du site http://pan.fotovista.com/dev/8/1/04888718/g_04888718.jpg

³⁶ Image extraite du site <http://www.ordissimo.com/images/TTU24.jpg>

Tableau 3 - Les fonctionnalités des différentes solutions tactiles pour les personnes âgées

Fonctionnalités	E-Sidor	EtiBox	Magui	Ordimemo	Ordissimo	Wizz-Box
Multimédia						
Photos	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Musique	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui
Vidéos	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non
Jeux	Oui	Oui	Non	?	Oui	Oui
Bureautique	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
Communication						
Courriel	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Téléphone	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Visiophonie	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Internet	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Assistance	?	Oui	Non	Oui	Non	?
Organisationnel						
Agenda	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Carnet d'adresse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Gestionnaire de documents	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
Santé						
Appel d'urgence	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
Interactions avec le système						
Écran tactile	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Synthèse vocale	Oui	Oui	Oui	?	Non	?
Domotique	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
Habitat intelligent	Non	Oui	Non	Non	Non	Non

**Chapitre 2 : L'optimisation spatiale
de l'interaction
chez les personnes âgées**

A. L'existant

L'optimisation spatiale des interfaces et plus généralement des interactions a toujours été un domaine important de recherche dans la thématique de l'Interaction Homme Machine (IHM). Dès 1954 [Fitts, 1954], Fitts introduisit une loi permettant de modéliser le temps d'atteinte d'une cible. Cette loi a été étendue au cadre de l'informatique par [Card et al., 1978], [MacKenzie, 1995] pour prévoir, par exemple, le temps de réalisation d'un clic souris. À partir de cette loi, deux facteurs interviennent pour optimiser le temps : la distance entre le point d'arrivée et le centre de l'objet, et la taille de celui-ci. De nombreuses recherches découlent de cette loi comme par exemple le domaine de recherche sur les claviers virtuels. Ceux-ci sont des claviers représentés sur l'écran et qui permettent de saisir du texte sans la nécessité d'avoir un clavier physique. La plupart des claviers virtuels retranscrivent le clavier physique directement sur l'écran, mais certains se servent de la loi de Fitts pour ré agencer les touches du clavier en fonction de la probabilité d'apparition des lettres afin d'optimiser la distance à parcourir [MacKenzie et Zhang, 1999], [Raynal et Vigouroux, 2005]. Un autre domaine de recherche se reposant fortement sur l'optimisation spatiale de l'interaction est le domaine des téléphones portables. En effet, dû à la surface d'affichage réduite de ces appareils, des solutions doivent être employées pour pallier ce problème. Nous pouvons citer par exemple des recherches sur des interactions spécifiques de saisie sur des appareils mobiles comme le système GrooveWrite [Al Faraj et al., 2008] qui permet de réduire à la fois le risque d'erreurs de saisie en situation de mobilité et la taille nécessaire de la zone de saisie. Enfin, un autre domaine fondamental, d'autant plus pour les personnes âgées qui ont des facultés cognitives amoindries, est l'optimisation de la navigation dans les menus. Nous pouvons citer les recherches sur le Pie Menu par exemple qui apporte des facilités au niveau des clics en limitant le nombre d'erreurs [Callahan et al., 1988] ou bien l'optimisation des zones actives dans un menu linéaire avec un stylet toujours dans le but de réduire le nombre d'erreurs et d'incompréhensions liées à celles-ci, augmentant la charge cognitive de l'interaction [Moffat et McGrenere, 2009]. Finalement, cette loi montre aussi ses limites et doit évoluer pour prendre en compte les personnes âgées [Bakaev, 2008].

Avec les quelques exemples précités, nous pouvons voir l'intérêt d'étudier l'optimisation spatiale des IHM. Que cela soit pour optimiser la vitesse de réalisation, la fatigue, la réduction du nombre d'erreurs ou bien la charge cognitive.

Nos travaux reposant sur l'étude des interactions tactiles et vu l'inexistence à notre connaissance de plateforme permettant d'étudier l'optimisation spatiale pour une interaction

tactile, nous proposons une plateforme optimisée pour une interaction tactile qui permet d'étudier et de comparer plus facilement les variations qu'entraînent les changements que l'on peut apporter au niveau des interactions pour optimiser celles-ci.

Ce chapitre est constitué de la description des fondements et des principes de la plateforme EPTE et de deux expérimentations se basant sur cette plateforme : une sur l'étude de la bimanualité et une sur la mémorisation.

B. La plateforme EPTE

L'objectif de la plateforme « Experimental Psychology Tests Environment » (EPTE) est de permettre la conception, la réalisation et l'analyse de tests psycho expérimentaux très rapidement. Ce socle commun permet de comparer plus aisément les résultats d'un test par rapport à un autre.

1) Le design et le fonctionnement général de la plateforme

Cette plateforme répond à deux objectifs principaux : la création de ses propres tests et la passation des tests déjà définis. Elle se veut aussi une plateforme permettant à chaque personne de pouvoir faire, quand elle le veut, un nouveau test ou une répétition d'un test déjà effectué.

Pour permettre cela, les utilisateurs, lors du lancement de l'application, sont invités à saisir un nom d'utilisateur ainsi qu'un mot de passe ou bien à créer un compte utilisateur si cela n'a pas déjà été fait. Une fois l'identification effectuée, une fenêtre est présentée et demande quel type de tests l'utilisateur veut réaliser. L'expérimentateur peut choisir un test prédéfini (Cf. Figure 31) qui correspond à un test où la plateforme générera une série de tests consécutifs en faisant varier les paramètres définis lors de la création de ce test prédéfini. Il peut aussi choisir de réaliser un test (Cf. Figure 33) où il réglera lui-même les différents paramètres.

Sur les deux interfaces de choix des tests, nous distinguons (Cf. Figure 31 et Figure 33) que la couleur dominante est le jaune. Ce choix de couleur s'explique par la perte de contraste au niveau de la vision chez les personnes âgées. Le jaune pur permet de maximiser la luminance de la couleur et de bien ressortir avec le fond. En effet, nous aurions pu utiliser le blanc, mais ce choix aurait supprimé toute couleur au niveau de l'interface et pourrait rendre celle-ci trop « triste ».

Pour le choix de la couleur du fond, nous sommes partis sur une absence de couleur, donc du noir, pour augmenter le contraste avec les couleurs que nous utilisons par la suite.

Au niveau de l'interaction de ces interfaces, un appui sur la flèche de gauche permet de revenir à l'étape précédente, un appui sur la flèche de droite permet de valider les choix. Les formes carrées avec des angles arrondis et un texte au-dessous sont des boutons qui fonctionnent soit par un système d'actif/inactif pour l'interface de tests prédéfinis (Cf. Figure 32), soit par un système de liste défilante (Cf. Figure 34). Ce système fonctionne de la manière suivante : à chaque appui sur la forme, la sélection grisée se déplace vers la valeur

prédéfinie suivante ; lorsque celle-ci arrive au bout, elle reboucle à la première valeur possible.

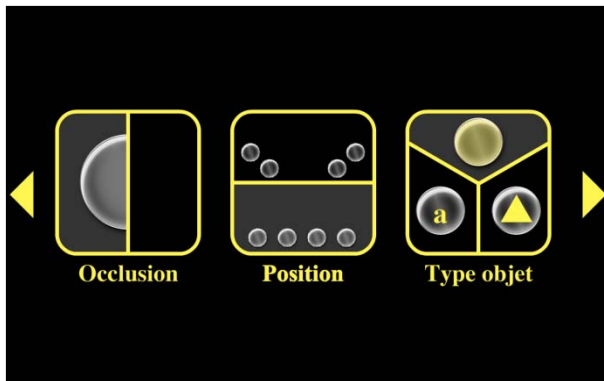


Figure 31 - Interface de présentation des tests prédéfinis disponibles

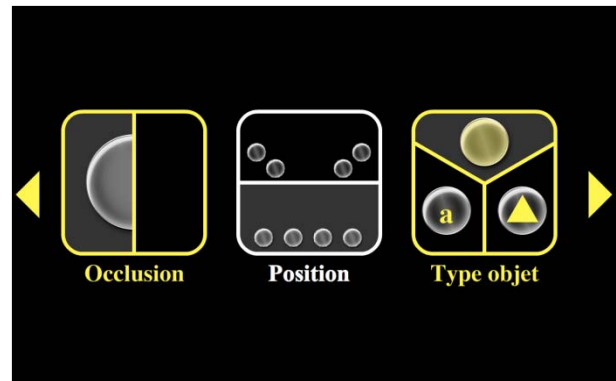


Figure 32 - Interface de présentation des tests prédéfinis disponibles avec sélection du test "Position"

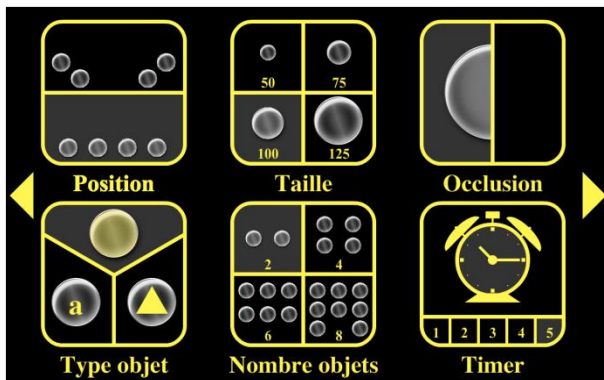


Figure 33 - Interface de la personnalisation d'un test avec un choix de disposition en un bloc, une taille de cible de 100 pixels, une non utilisation d'un masque, une représentation par couleur, 2 cibles et une consigne qui s'affiche 5 secondes

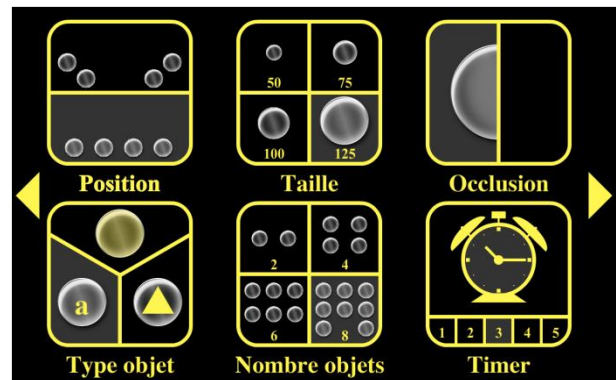


Figure 34 - Interface de la personnalisation d'un test avec un choix de disposition en un bloc, de taille de cibles de 125 pixels, une non utilisation d'un masque, une représentation par lettre, 8 cibles et une consigne qui s'affiche pendant 3 secondes

L'interface de la plateforme lors d'un test (Cf. Figure 35) est découpée en trois zones principales : la zone d'informations, la zone de consigne et la zone d'activité. La zone d'informations comporte le numéro de l'utilisateur et le nombre de mains qu'il a à utiliser. La zone de consigne permet de lancer le test lorsqu'elle affiche « START » et d'afficher la cible à cliquer lorsque le test est en cours. La zone d'activité comporte les différentes cibles et un masque si celui-ci est activé dans les paramètres du test.

Quel que soit le paramétrage de la plateforme de tests, les tests reposent tous sur une identification d'une consigne, de l'analyse de celle-ci et de la sélection de la commande équivalente à la consigne.

Par exemple, sur la Figure 35, l'utilisateur a comme numéro d'identification le 1, il doit utiliser une seule main pour faire le test, il doit appuyer sur la consigne pour pouvoir débiter le test et le test comporte 4 cibles ayant pour type d'informations des couleurs. Après quelques secondes, la première consigne apparaît : par exemple la couleur rouge, puis l'utilisateur doit appuyer sur la cible de couleur rouge dans la zone d'activité pour valider la consigne et passer à la suivante.



Figure 35 – Exemple de test de la plateforme EPTE

2) Les paramètres réglables de la plateforme

Notre plateforme d'expérimentation repose sur la possibilité de régler différents paramètres pour pouvoir tester différentes configurations de test. Ces paramètres sont au nombre de 6 (Cf. Figure 33).

Quatre paramètres sont liés aux propriétés des cibles :

- la taille permettant d'étudier la loi de Fitts ;
- le nombre de cibles permettant d'étudier l'augmentation de la charge cognitive ;
- le type de représentation des cibles permettant de mesurer les différences de perception et d'analyse entre des connotations sémantiques différentes ;

- et la disposition des cibles permettant, comme pour la taille, d'étudier la loi de Fitts.

Les deux autres paramètres sont :

- la présence ou non d'un masque permettant de tester la mémorisation spatiale sur un écran : celui-ci pouvant être transparent ou opaque ;
- le temps d'affichage de la consigne permettant de vérifier les besoins au niveau des temporisations pour une bonne utilisation des interactions.

3) La conception du design des cibles

Le design des cibles est le résultat d'une conception itérative. Nous sommes partis d'une représentation circulaire pour coller à la métaphore des boutons physiques que nous trouvons sur les bornes d'arcades, sur les manettes de jeu de console ou sur de nombreux autres appareils électroniques.

Afin de donner un effet de relief au bouton, nous avons retenu une représentation (Cf. Figure 36) avec un biseautage, une ombre portée et une couche de « verre » faisant office de zone de protection de l'élément caractérisant la cible : image, forme, lettre ou couleur. Après quelque pré tests d'utilisation, les personnes âgées nous ont fait remarquer que cet effet de relief et de « verre » est plus perturbant que d'utiliser une forme simple.

Nous avons donc changé de représentation (Cf. Figure 37) en supprimant l'effet de biseau, l'ombre portée et l'effet de « verre » pour revenir à un cercle blanc uniforme, mais en gardant un dégradé blanc vers noir servant de contour et d'une taille d' $1/10^{\text{ème}}$ de la taille de la cible. Ce contour a deux intérêts : permettre une meilleure visibilité de la cible en augmentant la séparation visuelle avec le fond pour les sujets, et identifier une zone permettant de détecter des erreurs de clic proche de la cible pour nos études.



Figure 36 - Première représentation
d'une cible de 100x100 pixels

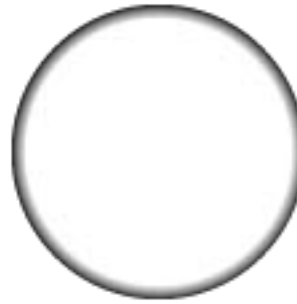


Figure 37 - Représentation finale
d'une cible de 100x100 pixels

4) Les chemins

Définissons le concept de chemins. Un chemin correspond à une suite de cibles à cliquer que nous allons préciser ci-après. La distance en pixels est calculée à partir de la distance parcourue entre chaque cible. Un chemin répond à des contraintes particulières. Pour répondre à celles-ci, un outil de création automatique de chemin a été développé pour pouvoir générer plusieurs chemins équivalents et permettre un tirage aléatoire de ceux-ci pour supprimer un possible effet d'apprentissage par les sujets.

Les contraintes que nous avons fixées sont les suivantes :

- une nouvelle consigne est toujours différente de la précédente ;
- un nombre d'apparitions des cibles identiques pour chacune d'entre elles ;
- la distance parcourue pour une disposition des cibles en un bloc et ayant une répartition équilibrée entre elles est égale à la valeur fixée ;
- le nombre de cibles composant un chemin est égal à 48.

Ces contraintes ne sont pas anodines. Pour la première contrainte, le fait d'avoir une consigne toujours différente de la précédente est nécessaire pour que l'utilisateur puisse détecter correctement que la consigne a changé. La deuxième contrainte s'explique pour une raison statistique. Il faut que chaque cible apparaisse autant de fois pour disposer d'informations contrôlées à analyser. La troisième contrainte a été rajoutée pour pouvoir faire des comparaisons entre les tirages aléatoires des chemins. Pour la dernière, il faut que le nombre de cibles du chemin soit un multiple du « nombre de cibles » afin d'avoir un temps de réalisation proche entre chaque test. Sachant que le nombre de cibles est respectivement de 4, 6 et 8, la contrainte est fixée sur le plus petit multiple commun à celles-ci soit 24. Afin que la durée des tests ne soit pas trop importante, le nombre de répétitions de cibles a été fixé à son

minimum. Cependant dans le cas de l'utilisation de 8 cibles, le nombre de répétitions d'une cible serait seulement de 3, ce qui statistiquement n'est pas assez élevé. Le choix du multiple commun supérieur a été préféré, soit un chemin de 48 cibles.

Ce qui donne respectivement, pour les nombres de cibles 4, 6 et 8, un nombre de répétitions égal à 12, 8 et 6 (Cf. Tableau 4).

Tableau 4 - Récapitulatif du nombre de consignes en fonction du nombre de cibles et du nombre de répétitions de chacune d'elle

Nombre de cibles	4 cibles	6 cibles	8 cibles
Nombre de répétitions d'une même consigne	12	8	6
Total de consignes pour le chemin	48	48	48

5) La gestion des événements

a) Les traces

Lors de la réalisation des tests, nous récupérons deux catégories d'informations, à savoir :

- les événements de la souris ;
- les informations de la consigne.

Les événements de la souris peuvent paraître bizarres sachant que l'on veut mesurer des informations tactiles. Ce choix est contraint par l'utilisation de la version de Flash. À la date de la création de la plateforme, Flash ne gérait pas encore les événements de type « toucher ». Il m'a fallu donc utiliser les événements souris. De plus, pour éviter des problèmes de détection de mouvement, le *multitouch* a été désactivé lors de tous les tests.

Pour les événements de la souris, nous récupérons le temps de l'événement, le type d'action, la position du curseur sur la zone d'affichage et le nom de l'objet situé sous la position du curseur si un objet est présent. Dans ce cas-là, la position du curseur par rapport à l'objet est aussi enregistrée.

Les informations de la consigne permettent de définir la consigne en cours et à l'instant où elle a débuté.

b) Les paramètres dépendants exploités

À partir des traces, nous avons analysé plusieurs paramètres dépendants afin de comparer les modifications apportées par les paramètres indépendants de nos tests sur l'interaction (Cf. B.2)). Ces paramètres étudiés sont :

- le temps total de réalisation du test ;
- le nombre d'erreurs subdivisé en plusieurs types d'erreurs :
 - les erreurs de clic sur le fond ;
 - les erreurs de clic sur le contour de la cible ;
 - les erreurs de clic sur une mauvaise cible ;
 - les erreurs par manque d'appui durant le temps d'affichage de la consigne ;
 - les erreurs de relâchement sur une bonne cible ;
 - les erreurs de relâchement sur une mauvaise cible.
- le taux d'erreurs ;
- les paramètres associés à chaque cible :
 - le temps moyen d'acquisition de la cible en gardant les actions avec des clics sur une mauvaise cible ;
 - le temps moyen d'acquisition de la cible en supprimant les actions des clics sur une mauvaise cible ;
 - le temps moyen de pression de la cible en gardant les actions avec des clics sur une mauvaise cible ;
 - le temps moyen de pression de la cible en supprimant les actions des clics sur une mauvaise cible ;
 - le nombre de clics sur une autre cible ;
 - le temps moyen de localisation de la cible ;
 - la précision de localisation de la cible.

Le temps total de réalisation du test correspond au temps entre l'appui sur le bouton « START » et le relâchement de l'appui de la dernière cible fournie par la consigne. Le temps de fin associé au relâchement peut être remplacé par le temps d'affichage maximal d'une consigne si l'utilisateur a dépassé le temps imparti pour la réalisation de la dernière consigne.

Les erreurs, quel que soit leur type, sont définies à partir du relâchement de l'objet. En effet, la validation de clic sur une cible se fait lors du relâchement de l'appui. Le nombre d'erreurs correspond à la somme du nombre d'erreurs de clic sur le fond, de clic sur un contour, de clic sur une mauvaise cible et de clic sur un autre objet de l'interface visuelle comme la consigne ou bien les informations utilisateurs.

Les erreurs de clic sur le fond correspondent à toutes les erreurs d'appui sur le fond de l'interface, ce qui veut dire tous les clics où aucun objet ne se trouve sous l'appui.

Les erreurs de clic sur le contour de la cible correspondent au clic sur le contour de nos cibles. En effet, chaque cible a un contour de $1/10^{\text{ème}}$ de la taille de celle-ci en pixels. Ce qui permet un appui sur ce contour et de pouvoir quantifier plus facilement une erreur de proximité.

Les erreurs de clic sur une mauvaise cible sont les erreurs liées à un appui sur une cible qui est différente de la consigne courante. Elles permettent d'identifier les erreurs de perception ou d'inattention.

Les erreurs de relâchement, que cela soit sur une bonne ou une mauvaise cible, ne sont pas à proprement parler comptabilisées dans le nombre d'erreurs. En effet, ces erreurs sont dues à un déplacement entre l'appui et le relâchement sur la surface tactile. L'erreur peut être lors de l'appui ou lors du relâchement. Une erreur de relâchement est considérée comme sur une bonne cible lorsque celle-ci a l'appui ou le relâchement qui s'est effectué sur la bonne cible. Si ce n'est pas le cas, elle est considérée comme erreur de relâchement sur une mauvaise cible.

Le taux d'erreurs correspond au nombre total d'erreurs durant le test divisé par le nombre de consignes du test (48). Le taux d'erreurs peut donc être supérieur à 100% si le sujet a réalisé en moyenne plus d'une erreur pour chaque consigne.

Les temps moyens d'acquisition et de pression ainsi que le nombre de clics sur une mauvaise cible sont basés sur une sous analyse des traces. Le référentiel d'analyse change à chaque changement de la consigne. Par exemple, la consigne indique la cible « X », le référentiel se déplaçant au niveau de la caractéristique de la cible « X ». Les comparaisons se faisant donc en fonction de la cible et non plus de la consigne. Ce qui permet d'analyser chaque cible plus spécifiquement.

Les temps moyens d'acquisition de la cible correspondent à la moyenne pour chaque cible du temps entre l'apparition de la consigne et la validation de celle-ci par l'appui sur la bonne cible.

Les temps de pression de la cible correspondent à la moyenne pour chaque cible du temps entre l'appui sur la cible et le relâchement de celle-ci.

Le nombre de clics sur une autre cible correspond au nombre de clics sur une cible différente de la consigne. Ce qui permet de voir les problèmes de perception de la cible courante.

Le temps de localisation de la cible et la précision de localisation de la cible ne sont des valeurs présentes que pour les tests utilisant un masque transparent ou non.

Le temps de localisation de la cible correspond au temps entre l'affichage de la consigne et le premier appui sur le masque.

La précision de localisation de la cible correspond à la distance en pixels entre le premier appui sur le masque et l'appui sur la bonne cible pour valider la consigne. Pour cette variable, seulement les clics directs sur la bonne cible sont pris en compte pour ne pas biaiser les distances à cause d'une mauvaise analyse de la consigne.

À ces résultats quantitatifs, de nombreux résultats qualitatifs sont utilisés comme la fatigue visuelle et motrice, les préférences des utilisateurs, etc.

6) Équipements

Les participants utilisent un Tablet PC Latitude XT2 de marque Dell. L'écran de l'ordinateur a une diagonale de 12,1 pouces (30,7cm). L'écran comporte 1280 pixels en largeur et 800 pixels en hauteur, ce qui donne une définition de 124,7 ppp. Le Tablet PC tourne sous le système d'exploitation Microsoft Windows 7. Le clavier virtuel avait été désactivé lors de l'expérimentation pour ne pas perturber l'affichage plein écran du test. L'écran de l'ordinateur est basé sur la technologie duo-sense de N-Trig, ce qui permet une utilisation du stylet et/ou d'un à quatre doigts. Pour notre expérience, le stylet et l'utilisation de plusieurs doigts ont été désactivés, de même que l'appui prolongé pour l'émulation du clic droit. L'ordinateur a été placé sur un support permettant d'avoir une inclinaison de 30° [Ahlstrom et al., 1992]. Les participants doivent s'asseoir en face de l'ordinateur et régler la hauteur du siège ainsi que la distance de l'ordinateur afin d'être confortablement assis et de percevoir correctement les couleurs. En effet, à cause de la technologie de la dalle du Tablet PC, les angles inférieurs et supérieurs (dans le sens vertical) se dégradent très rapidement au niveau de la luminosité de l'écran.

L'application de test a été réalisée sur Adobe Flash et utilise une api d'interfaçage nommée amfphp afin de communiquer avec le serveur pour stocker les données des tests. Dans le cas de l'expérience, le serveur était aussi le Tablet PC.

C. Test sur la bimanualité

1) L'existant

Pour l'optimisation spatiale de l'interaction, nous avons vu dans l'introduction du chapitre que beaucoup de recherches se fondent sur la loi de Fitts comme méthode d'évaluation prédictive. Cette loi donne les meilleurs résultats lorsque la distance entre le départ du mouvement et la fin du mouvement est minimale et que la taille de l'objet à pointer est maximale. Avec plusieurs objets, il est donc conseillé de les coller les uns aux autres pour réduire leur distance entre eux. Pour la même raison, il est conseillé de les agencer en forme de carré pour réduire la distance entre les cibles qui sont placées à l'opposée l'une de l'autre. Cette solution est intéressante, mais pose un problème au niveau de la surface prise par ce « gros bloc » carré. En effet, en IHM il est nécessaire de gagner en surface d'affichage au niveau de la zone de travail, qui est le plus souvent située au centre de l'écran. Ce « gros bloc » va obligatoirement prendre plus de place qu'une répartition en ligne en bas de l'écran (limite la hauteur du bloc de commande) ou bien une division en deux sous blocs éclatés sur les côtés bas de l'écran. Ce dernier exemple a plusieurs avantages : il répond à la problématique de libérer la zone centrale de l'écran en réduisant la largeur par deux ; permet de réduire le recouvrement du bras lors de l'utilisation de deux mains vu que les cibles sont situées sur les bords ; et avec l'utilisation de deux mains garde des performances théoriques proches du bloc unique. Ses désavantages sont une complexité cognitive plus importante et un recouvrement de l'écran toujours présent si une seule main est utilisée.

Plusieurs recherches abondent vers cette optimisation. Nous savons que le tactile permet une meilleure mémorisation spatiale des interfaces [Tan et al., 2002]. Il a montré une réduction d'environ 20% d'erreur grâce à l'apport des indices kinesthésiques. Une utilisation à deux mains est aussi conseillée par rapport à l'utilisation de deux doigts dans le cas où l'utilisateur a, à réaliser, des tâches non identiques entre les deux mains [Moscovich et Hugues, 2008]. De plus, lorsque l'on fait intervenir des grands écrans, les utilisateurs préfèrent l'utilisation du tactile avec les deux mains plutôt que l'utilisation de la souris [Forlines et al., 2007]. Finalement, il n'est pas nécessaire de tester plus de deux doigts dans une tâche de sélection multiple : l'augmentation du nombre de doigts n'entraînant pas d'augmentation de performances [Kin et al., 2009].

Toutes ces recherches montrent qu'il est intéressant d'étudier le comportement des personnes âgées sur une interface tactile optimisée pour l'utilisation de deux mains. C'est pourquoi nous

proposons une expérimentation permettant de répondre à l'intérêt que peut apporter cette solution d'optimisation spatiale de l'interaction.

2) Protocole

a) Participants

Trente-six personnes de 15 à 52 ans (avec une moyenne de 32,2 ans et un écart type de 10,1) ont participé dans cette expérimentation ainsi que vingt-quatre personnes âgées de 63 à 88 ans (avec une moyenne de 76,5 ans et un écart type de 8,2) sans déficience cognitive lourde. Cette contrainte a été vérifiée en posant la question à un proche et à la personne elle-même. Pour tous les sujets, les déficiences visuelles sont comblées par le port de lunettes si nécessaire. Les deux populations ont été comparées afin d'étudier l'impact de l'âge sur les performances.

b) Réglages des paramètres fixes de l'expérimentation

Dans cette expérimentation, plusieurs paramètres de la plateforme EPTE ont été fixés afin de limiter le nombre de variables indépendantes.

La taille de la cible a été fixée à une taille de 100x100 pixels ce qui équivaut à une taille de 2 centimètres sur 2 centimètres sur l'écran qui a servi à l'expérimentation. Cette taille a été choisie en se basant sur les résultats de [Jin et al., 2007] pour permettre un meilleur temps de réponse pour les personnes âgées sur l'écran tactile et limiter le nombre d'erreurs d'appui.

Le temps d'apparition de la consigne a été fixé à 5 secondes. Il a été déterminé suite à des prétests afin de réduire au maximum les échecs de la réalisation de la consigne.

Le type de représentation des cibles a été fixé sur des couleurs pour limiter au maximum la sémantique de la cible. Pour le choix des couleurs, nous avons retenu huit des onze couleurs nommées décrites par [Van der Broek et al., 2007], à savoir : le rouge, le vert, le bleu, l'orange, le jaune, le marron, le rose et le violet (Cf. Figure 38) ; les couleurs nommées exclues sont le blanc, le noir et le gris.

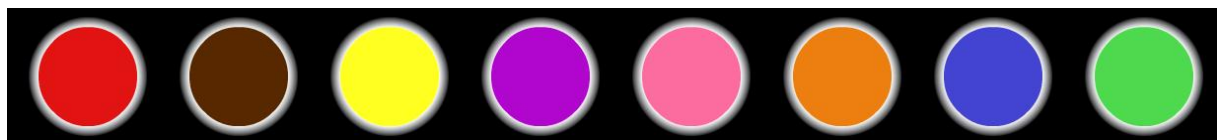


Figure 38 - Les huit couleurs utilisées pour l'expérimentation

Le masque n'a pas été activé pour cette expérimentation.

c) Variables indépendantes

Ce test comporte trois variables indépendantes :

- **Le nombre de mains.** Comme nous voulons voir comment les utilisateurs s'en sortent au niveau de l'utilisation de la bimanualité en fonction de l'âge de la personne, nous avons fixé cette variable à deux valeurs : une main ou deux mains ;
- **La disposition des cibles.** Nous avons fixé cette variable à deux dispositions différentes. Une disposition dite « 1 bloc » avec les cibles situées en ligne tout en bas de l'écran et espacé d'une même distance les unes des autres (Cf. Figure 39). La deuxième disposition, dite « 2 blocs », a été étudiée pour permettre une meilleure prise en compte des deux mains. Cette disposition répartit les cibles en deux sur chaque côté de l'écran. Comme pour la première disposition, les cibles situées en bas de l'écran. Pour éviter l'effet de bloc unique de la première disposition, nous avons disposé les cibles en deux colonnes avec en cas de ligne un nombre de cibles impair (Cf. Figure 40), une cible collée au bord de l'écran le plus proche. Pour chaque configuration, en fonction du nombre de cibles, une couleur est associée à une position. Un code a été créé pour identifier et localiser les cibles. Il se compose de deux parties : la couleur (une des huit couleurs précitées) et la position au niveau de la ligne en commençant par 0 et en se terminant par le nombre de cibles moins un. Par exemple, pour la Figure 35, les couples codés de gauche à droite sont : jaune/0, vert/1, rouge/2 et bleu/3.
- **Le nombre de cibles.** Le nombre de cibles a été élaboré à partir des lois perceptuelles de Miller [Miller, 1956] qui définissent le nombre maximal d'objets à utiliser entre 5 et 9. De plus comme nous avons une disposition qui demande une division par deux des cibles, nous devons avoir un nombre pair de cibles. Sachant que nos chemins ne peuvent pas afficher deux fois la même cible à la suite, le cas avec deux cibles n'a pas été gardé et nous avons donc comme nombre de cibles disponibles : 4, 6 et 8.



Figure 39 - Représentation de la configuration à 6 cibles et 1 bloc avec l'utilisation d'une main

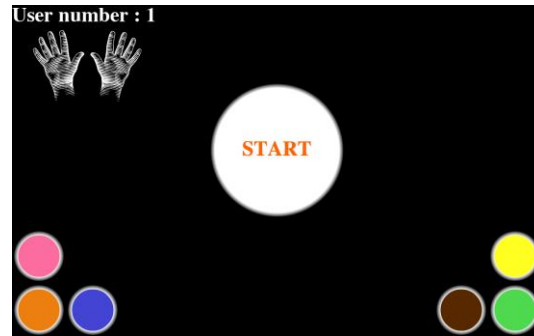


Figure 40 - Représentation de la configuration à 6 cibles et 2 blocs avec l'utilisation de deux mains

d) Variables dépendantes

Ce test comporte trois variables dépendantes :

- **Le Temps de Complétion du Test (TCT).** Pour rappel, il correspond au temps entre l'apparition de la première consigne et le dernier clic sur une cible correcte (ou à la fin d'apparition de la dernière consigne) ;
- **Le Taux d'Erreur (TE).** Pour rappel, il correspond au nombre total d'erreurs durant le test divisé par le nombre de consignes du test (48). Soulignons que notre taux d'erreurs peut donc être supérieur à 100% si le sujet a réalisé plus d'une erreur pour chaque consigne ;
- **Le Temps d'Acquisition de la Cible (TAC).** Il correspond au temps entre l'apparition de la consigne et le clic sur la couleur.

Chaque variable a été analysée en deux étapes. La première compare les deux populations entre elles. La seconde compare chez les personnes âgées les différences d'âge par tranche de 10 ans.

e) Procédures

Le participant est d'abord invité à donner son accord pour l'exploitation des résultats recueillis lors de l'expérimentation par l'intermédiaire d'une lettre de consentement éclairé. Ensuite, il est amené à remplir une feuille de renseignements (Cf. Annexe) où figurent diverses questions permettant de mieux le connaître et d'identifier des facteurs qui pourraient influencer les résultats.

À la suite de ce questionnaire, un prétest est réalisé pour s'assurer :

- que le participant comprend bien le fonctionnement d'appui sur les cibles ;

- qu'il fait bien la différence entre les deux types de disposition des cibles (1 bloc versus 2 blocs) ;
- qu'il distingue bien les huit couleurs qui sont utilisées dans ce test. Cette validation de la perception des couleurs se fait avec une tâche de dénomination de celles-ci.

Ensuite, le participant réalise l'expérimentation. Celle-ci est composée de deux parties (le test avec 1 main et le test avec 2 mains). Chaque partie est elle-même subdivisée en deux autres pour les personnes âgées : le passage du test et un questionnaire post test permettant de récupérer les impressions de l'utilisateur sur son état de fatigue et sur ses préférences. Pour les jeunes adultes, le questionnaire n'a pas été posé.

Le passage du test est lui-même découpé en six sous tests. Ces sous tests correspondent aux six combinaisons de configurations possibles : 4, 6 et 8 cibles avec 1 ou 2 blocs.

Le test complet comporte donc douze sous tests avec six configurations différentes (Cf. Figure 41) : 2 (nombre de mains à utiliser égal à 1 ou 2) * 3 (nombre de cibles égal à 4, 6 ou 8) * 2 (nombre de blocs égal à 1 ou 2).

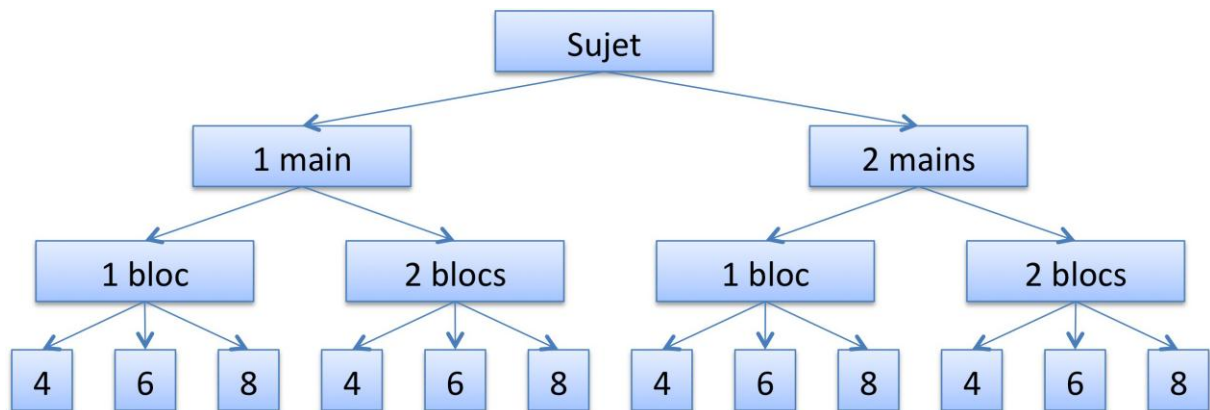


Figure 41 - Arbre représentant les différentes configurations possibles de sous tests

Pour chaque consigne, le participant doit appuyer sur la cible correspondant à la consigne. Le nombre d'actions peut être supérieur à 1 si le participant ne clique pas au bon endroit.

Nous avons défini trois cas d'erreurs de clic : un clic dans le vide, un clic sur une mauvaise cible ou sur le bord d'une cible. Toutes ces erreurs de clic génèrent une erreur au niveau des traces récupérées sans modification de l'interface de test. Le participant peut corriger son erreur pour passer à la consigne suivante.

Une autre condition d'erreur possible est lorsque le participant n'arrive pas à cliquer sur la bonne cible en moins de cinq secondes. Ces cinq secondes correspondent au temps d'apparition de la consigne. Dans ce cas-là, la consigne change pour se positionner sur la suivante.

Quelle que soit la population, l'ordre de passage des tests est contre balancé afin de supprimer les effets d'apprentissage qui pourraient intervenir.

L'expérimentation complète entraîne 576 acquisitions de cibles (12 sous tests * 48 cibles par sous test).

La durée de l'expérimentation varie entre 15 et 40 minutes selon les participants.

Pour commencer chaque sous test, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « START ».

3) Résultats

a) Résultats qualitatifs

L'analyse des résultats qualitatifs est limitée à la population âgée. Cette limitation n'était pas voulue, elle est due à un oubli fort malheureux de notre part. L'expérimentation s'est déroulée en deux temps : d'abord la réalisation des tests des jeunes adultes où les fiches de post-tests n'avaient pas été élaborées, puis la réalisation des tests des personnes âgées auxquels nous avons rajouté les fiches de post-test.

L'analyse des préférences d'utilisation d'une ou deux mains (Cf. Figure 42), montre que les avis sont mitigés. La préférence de l'utilisation de deux mains n'est supérieure à l'utilisation d'une main que de 4%. Le participant avait trois réponses possibles : 1 main, 2 mains et indifférent. Cependant, 13% des personnes ont répondu une autre réponse. Celle-ci est qu'ils préféreraient l'utilisation d'une main pour la disposition avec un bloc et l'utilisation de deux mains pour la disposition à deux blocs. Nous pouvons supposer que plus de personnes auraient donné cette réponse si elle était possible. Ce qui prouverait que la disposition de l'interface doit être différente suivant le nombre de mains utilisées pour satisfaire les préférences de l'utilisateur.

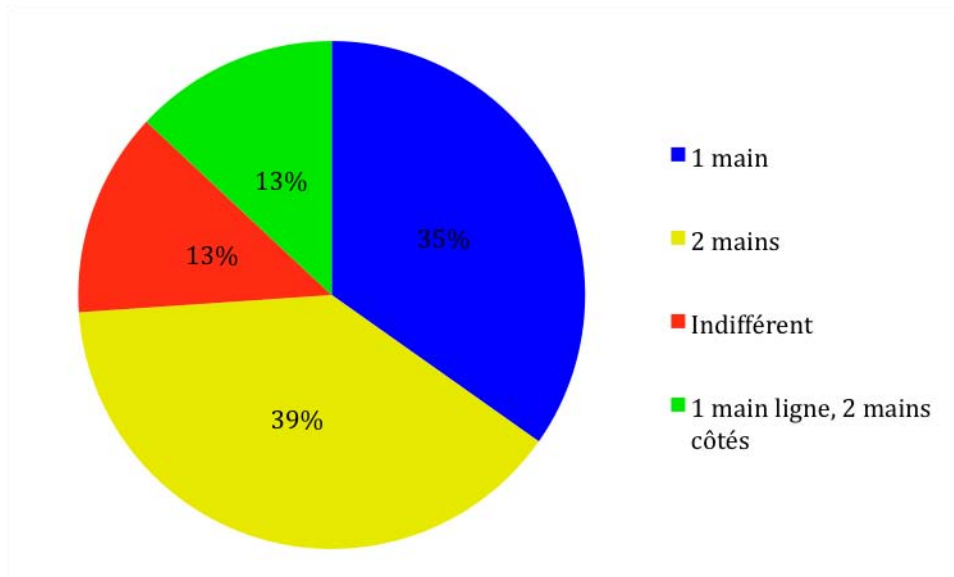


Figure 42 - Préférence du nombre de mains à utiliser pour les personnes âgées

Pour vérifier cette hypothèse, nous devons regarder les préférences de disposition suivant le nombre de mains utilisées. Cette analyse (Cf. Figure 43) montre que les utilisateurs préfèrent majoritairement la disposition en un bloc avec une main et que lorsqu'ils utilisent deux mains, ils n'ont majoritairement pas de préférence. Ces résultats réfutent l'hypothèse précédente et montrent que lorsque le participant utilise deux mains, la disposition n'est pas importante. Nous concluons que l'utilisation de deux mains permettrait une meilleure adaptabilité à la disposition de l'interface.

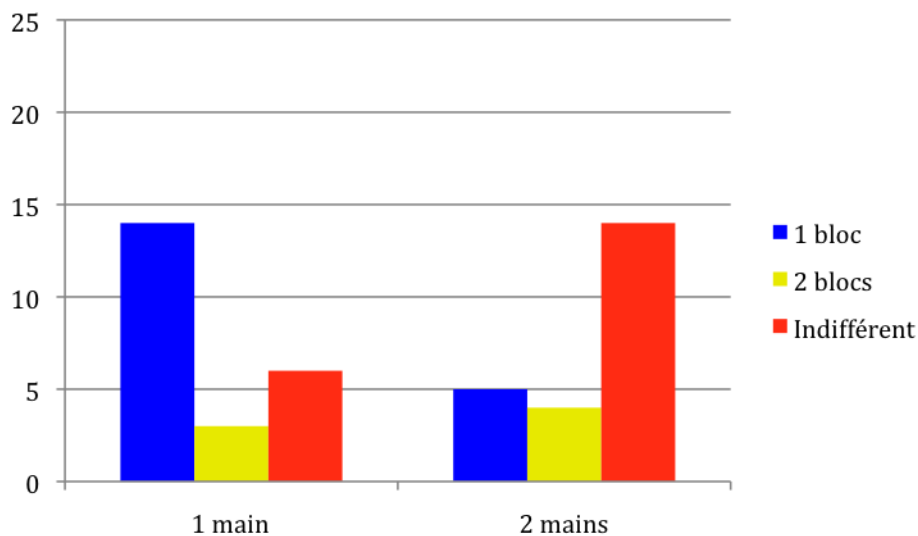


Figure 43 - Préférence du nombre de mains en fonction du nombre de blocs pour les personnes âgées

Une autre hypothèse sur le choix de l'utilisation de deux mains peut s'expliquer par une fatigue motrice ou visuelle moins importante. Ce n'est pas le cas pour les deux : aucune différence significative n'apparaît (Cf. Figure 44 et Figure 45).

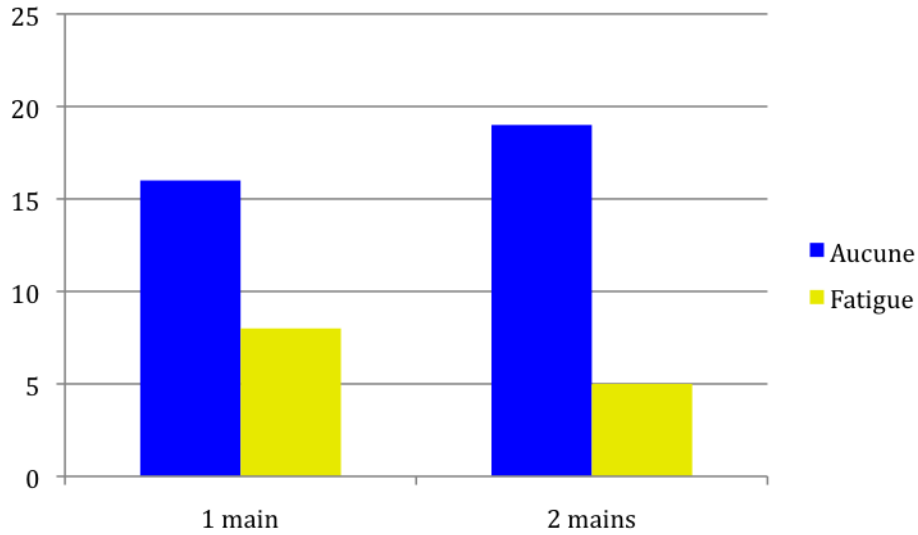


Figure 44 - Fatigue motrice en fonction du nombre de mains utilisées par les personnes âgées

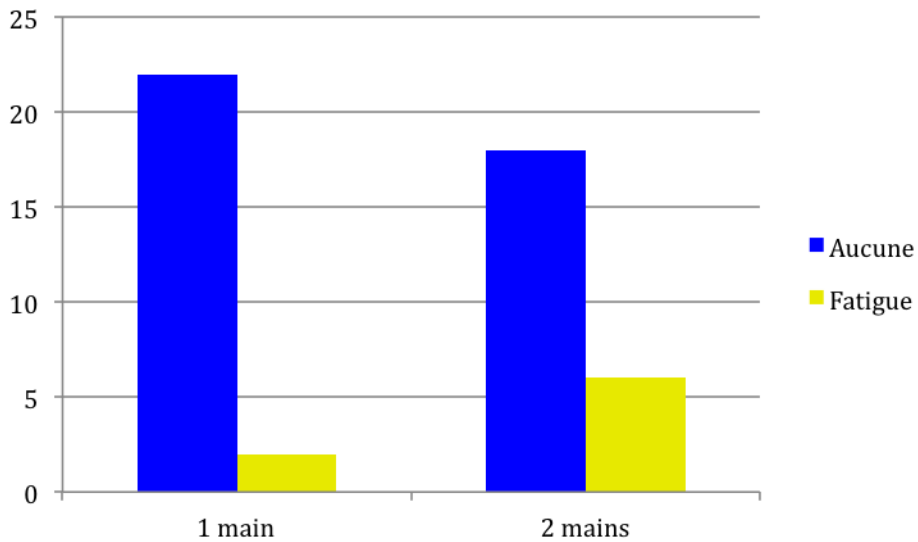


Figure 45 - Fatigue visuelle en fonction du nombre de mains utilisées par les personnes âgées

Il est intéressant de remarquer qu'aucune différence significative au niveau de la fatigue visuelle et motrice n'est à noter entre le test 1 (correspondant aux 6 premiers sous tests avec 1 ou 2 mains) et le test 2 (correspondant aux 6 autres sous tests avec le nombre de mains opposé à celui du test 1) (Cf. Figure 46 et Figure 47).

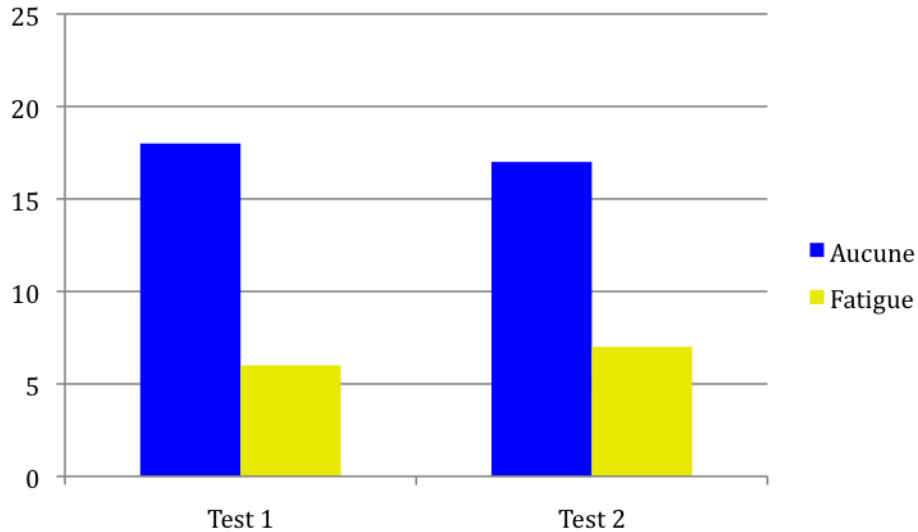


Figure 46 - Fatigue motrice en fonction du numéro du test par les personnes âgées

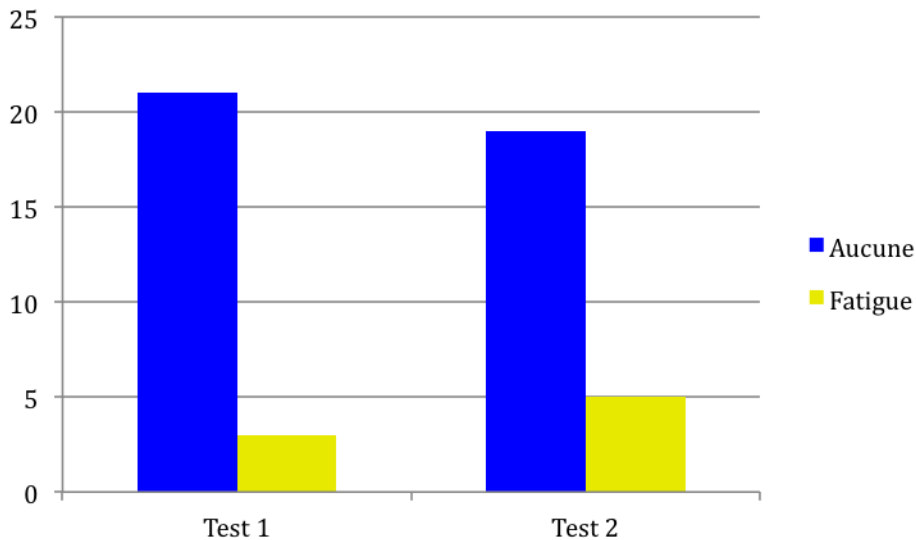


Figure 47 - Fatigue visuelle en fonction du numéro du test par les personnes âgées

Lorsque nous avons demandé aux personnes âgées si elles avaient eu des problèmes de perception entre différentes couleurs, nous avons relevé (Cf. Figure 48) que la plupart des personnes âgées ont des problèmes d'hésitation avec les couleurs et que certaines couleurs reviennent plus souvent que d'autres comme l'orange, le violet et le rose (Cf. Figure 49). Nous pouvons remarquer aussi que le passage à deux mains n'entraîne pas plus de problèmes de reconnaissances des couleurs (Cf. Figure 50).

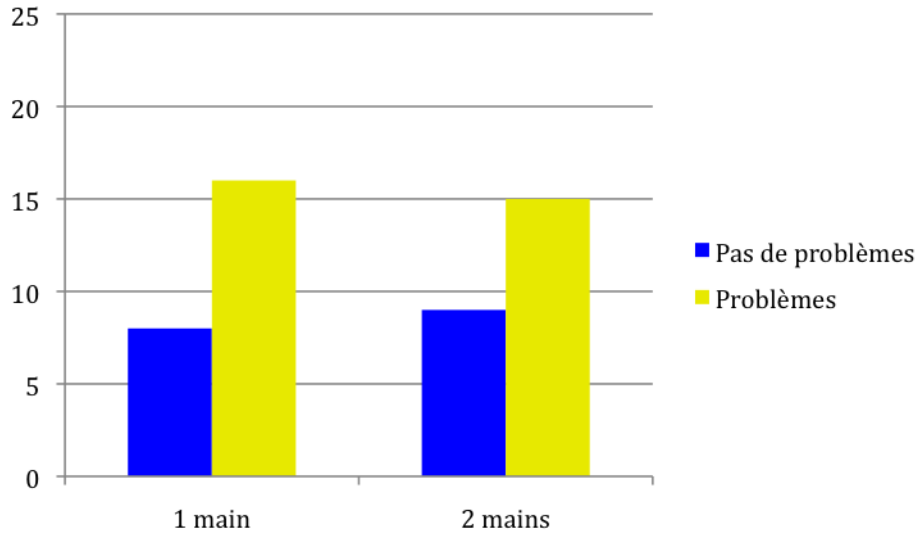


Figure 48 - Répartition des avis de bonne et mauvaise perception des couleurs pour les personnes âgées

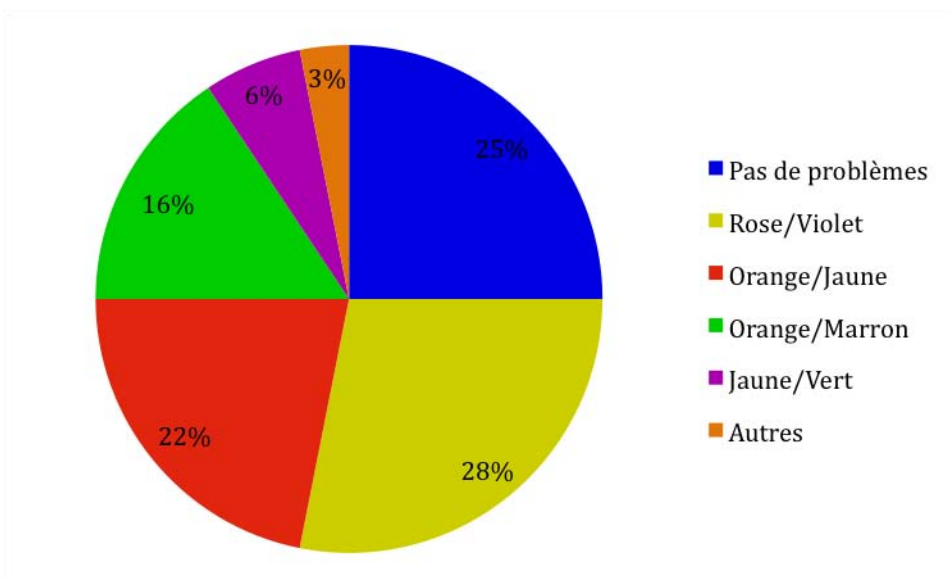


Figure 49 - Répartition des problèmes de confusion des couleurs avec 1 main par les personnes âgées

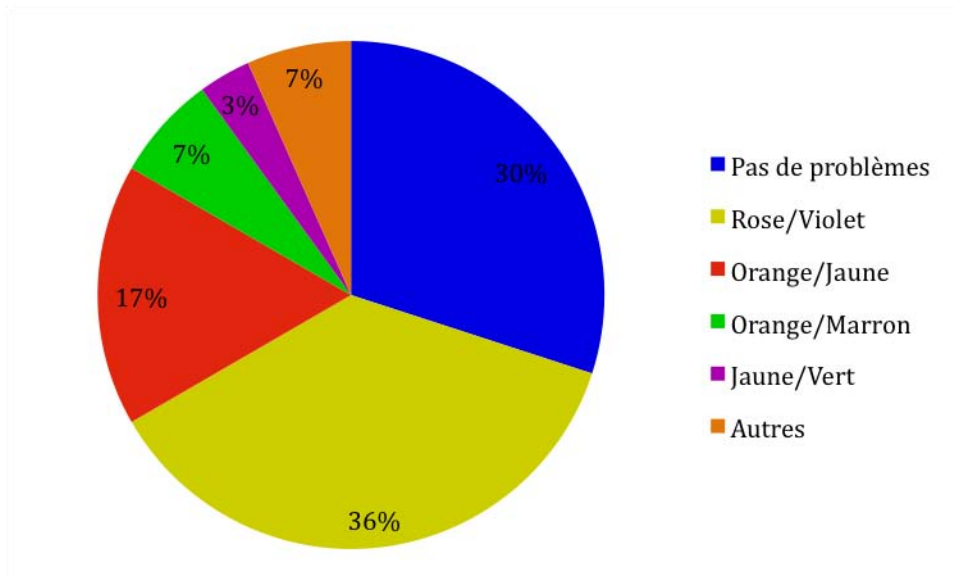


Figure 50 - Répartition des problèmes de confusion des couleurs avec 2 mains par les personnes âgées

L'analyse du nombre préféré de cibles par les personnes âgées montre que pour la majorité le nombre de cibles ne change pas la difficulté d'utilisation (Cf. Figure 51). Cependant, nous pouvons observer que pour une autre grande partie de la population des personnes âgées, la configuration à quatre cibles est plus facile que les autres (Cf. Figure 52 et Figure 53).

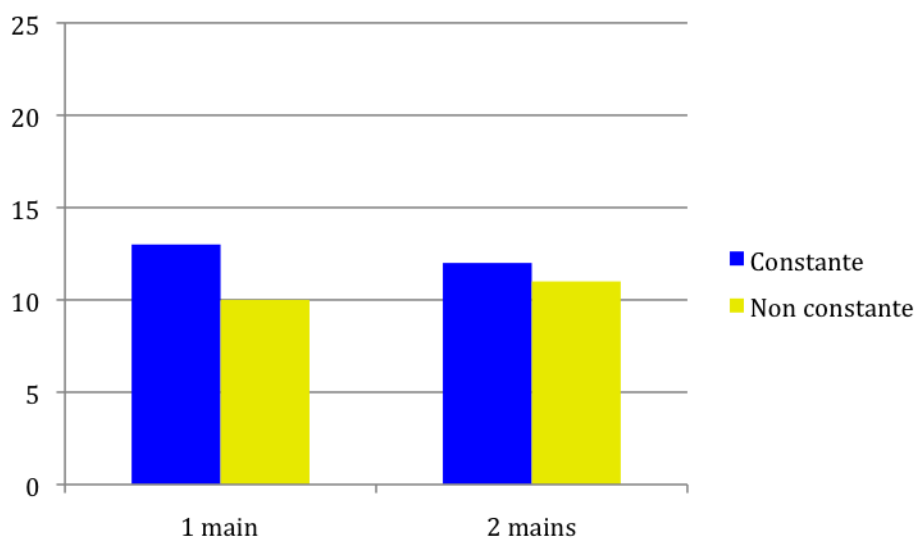


Figure 51 - Difficulté d'utilisation avec l'évolution du nombre de cibles pour les personnes âgées en fonction du nombre de mains

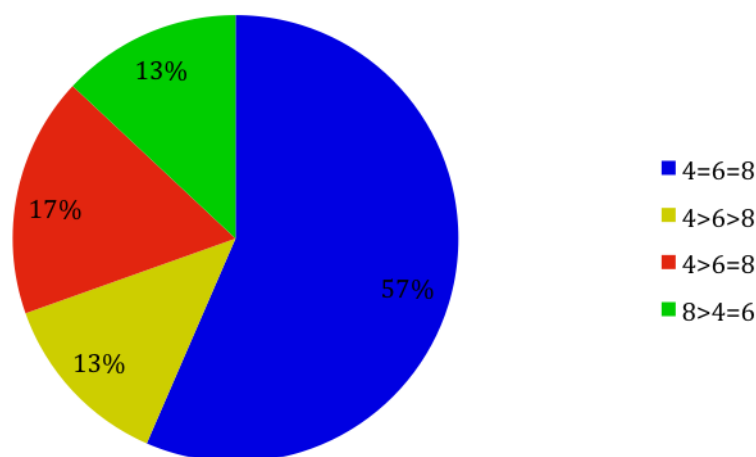


Figure 52 - Difficulté d'utilisation en fonction du nombre de cibles avec une main pour les personnes âgées

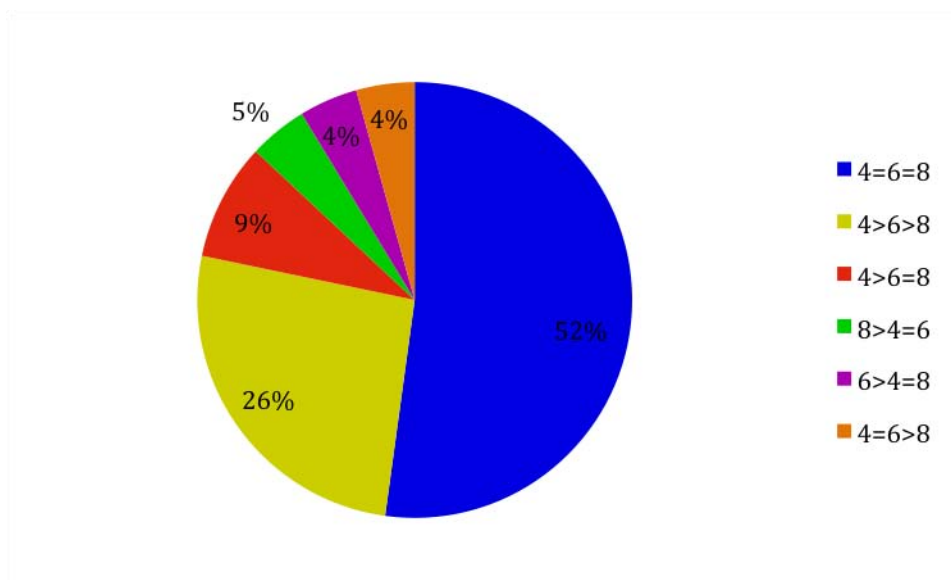


Figure 53 - Difficulté d'utilisation en fonction du nombre de cibles avec deux mains pour les personnes âgées

b) Résultats quantitatifs

Pour chaque variable analysée, un test Shapiro et un test de Bartlett ont été réalisés. Si la condition d'homoscédasticité est respectée, une ANOVA a été réalisée, suivie d'un test de TukeyHSD pour comparer les moyennes. Si la condition n'a pas été respectée, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé, suivi d'un test de Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn pour comparer les moyennes.

Pour comparer les jeunes adultes et les personnes âgées, il faut vérifier qu'il n'existe pas d'interactions entre le numéro du groupe et le nombre de cibles. Quelle que soit la variable

dépendante analysée, aucune différence significative n'est présente, ce qui permet de comparer les deux populations.

Le Temps de Complétion du Test

L'analyse de l'ANOVA à quatre facteurs (nombre de cibles, nombre de blocs, nombre de mains et type de population) du TCT montre des différences significatives sur chaque facteur :

- pour le nombre de cibles : $F(2,696)=52,9$ et $p<2,2^e-16$;
- pour le nombre de blocs : $F(1,696)=6,15$ et $p=1,33^e-2$;
- pour le type de population : $F(1,696)=1017,65$ et $p<2,2^e-16$.

Plusieurs interactions existent entre : le nombre de mains et le nombre de blocs ($F(1,696)=6,81$ et $p=9,25^e-3$) ; le nombre de mains et le type de population ($F(1,696)=5,36$ et $p=2,09^e-2$) ; et le nombre de cibles et le type de population ($F(2,696)=9,04$ et $p=1,33^e-4$).

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le nombre de blocs (Cf. Figure 54) montre que la configuration avec deux blocs a un TCT plus important que la configuration avec un bloc lors de l'utilisation d'une main.

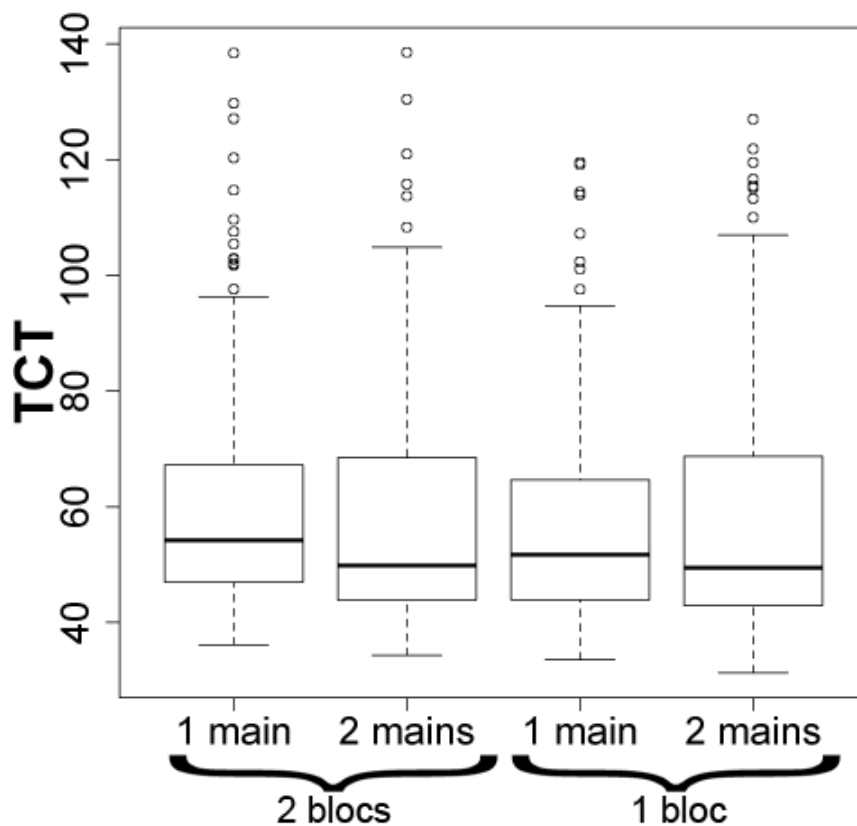


Figure 54 - TCT en secondes en fonction du nombre de mains et du nombre de blocs

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le type de population (Cf. Figure 55) montre que les jeunes adultes sont plus rapides pour réaliser le test que les personnes âgées et qu'elles s'adaptent mieux à l'utilisation de deux mains. L'augmentation du TCT pour les personnes âgées avec le passage à deux mains suggère que la coordination des deux mains serait plus coûteuse que bénéfique contrairement aux jeunes adultes.

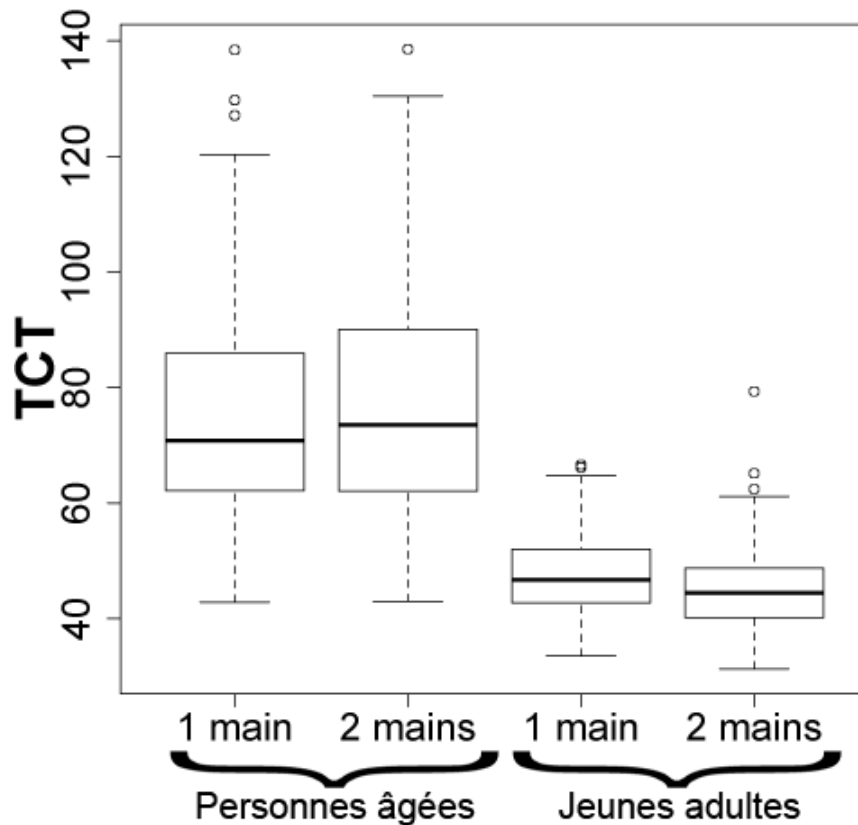


Figure 55 - TCT en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population

L'analyse de l'interaction entre le nombre de cibles et le type de population (Cf. Figure 56) montre que les personnes âgées sont moins performantes que les jeunes adultes quel que soit le nombre de cibles. Les jeunes adultes sont plus rapides avec la configuration avec huit cibles que les personnes âgées lorsque celles-ci utilisent la configuration avec quatre cibles. Nous observons également que plus la tâche est difficile (due à l'augmentation du nombre de cibles), plus le TCT augmente chez les personnes âgées comparativement aux jeunes adultes.

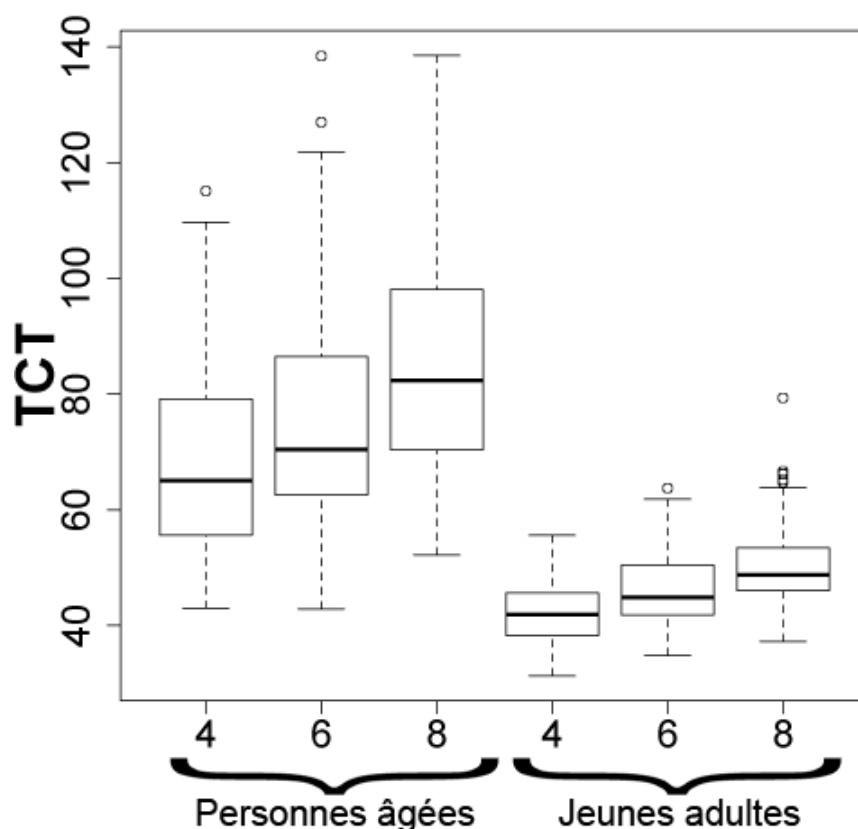


Figure 56 - TCT en secondes en fonction du nombre de cibles et du type de la population

Lorsque nous analysons plus spécifiquement la population des personnes âgées, nous remarquons à l'aide d'une ANOVA à quatre facteurs que seuls le nombre de cibles ($F(2,252)=30,93$ et $p=9,72^e-13$) et la tranche d'âge ($F(2,252)=64,56$ et $p<2,2^e-16$) sont significatifs. Une interaction existe entre le nombre de mains et le nombre de blocs ($F(1,252)=3,65$ et $p=5,72^e-2$).

L'analyse du nombre de cibles montre (Cf. Figure 57) que l'augmentation du nombre de cibles augmente le temps de complétion du test.

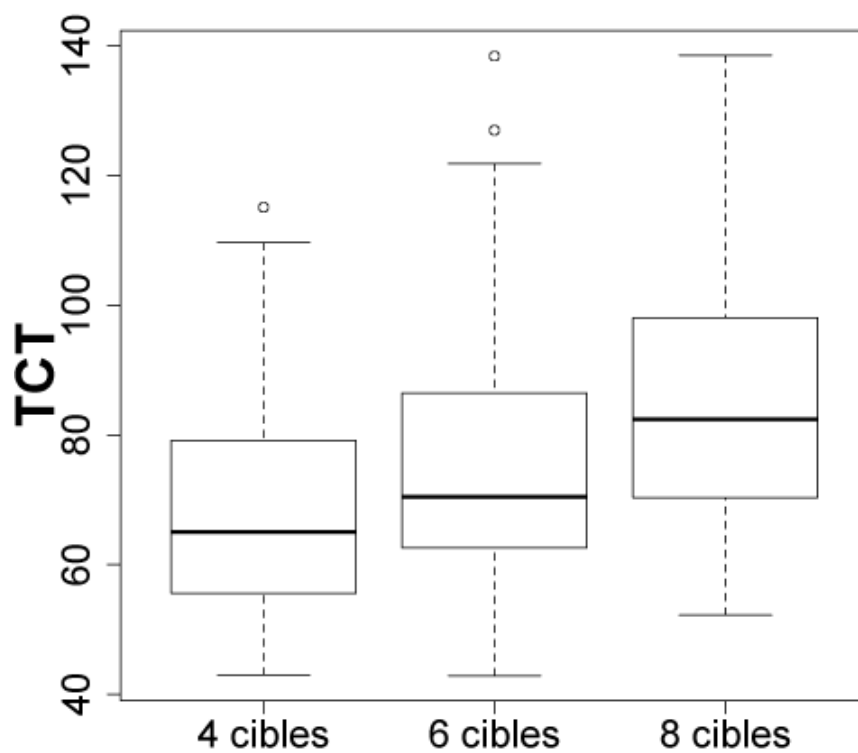


Figure 57 - TCT en secondes en fonction du nombre de cibles chez les personnes âgées

L'analyse de la tranche d'âge montre (Cf. Figure 58) que toutes les tranches d'âge sont significativement différentes et que plus l'âge est avancé, plus les performances sur le TCT augmentent.

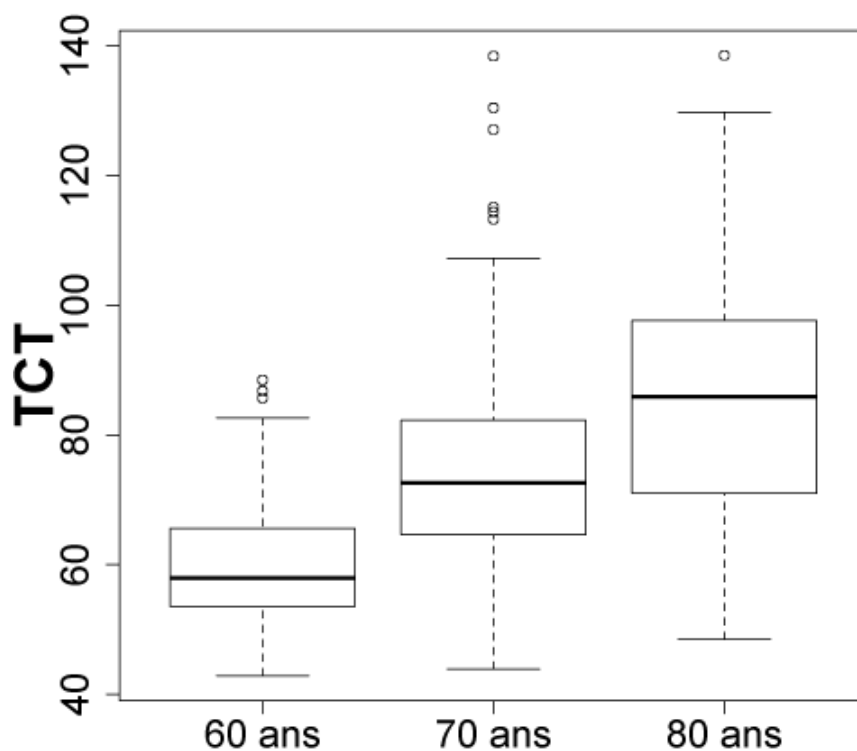


Figure 58 - TCT en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le nombre de blocs (Cf. Figure 59) montre qu'il existe une différence significative de performance entre le nombre de blocs lorsque les personnes âgées utilisent une main. Les résultats sont logiques et concordent avec les résultats évoqués précédemment, mais sont atténués au niveau de l'importance de la différence. Nous pouvons en conclure que l'influence du passage à deux mains est moins importante sur les performances pour les personnes âgées. Nous pouvons faire comme hypothèse que ce résultat est dû au fait que le temps de recherche de la cible et de l'action pour cliquer sur celle-ci est plus important pour eux et par conséquent réduit l'effet de la perte de performance avec le passage à deux mains sur une configuration avec un bloc.

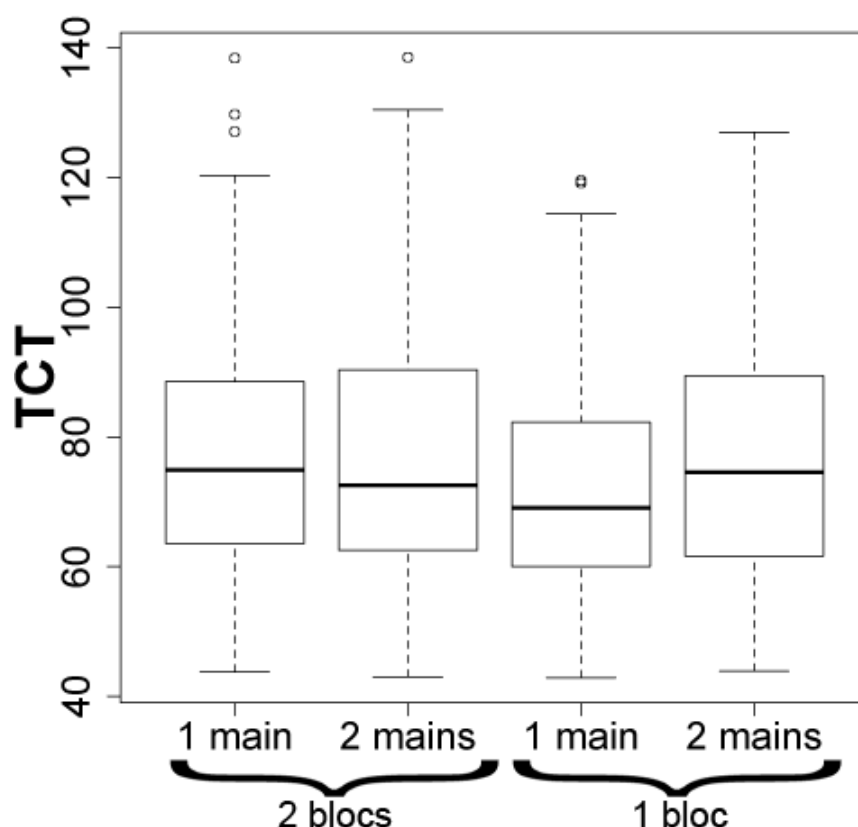


Figure 59 - TCT en secondes en fonction du nombre de mains et du nombre de blocs chez les personnes âgées

Le Taux d'Erreur

L'analyse de l'ANOVA à quatre facteurs (nombre de cible, nombre de blocs, nombre de mains et type de population) du Taux d'Erreur (TE) montre des différences significatives sur chaque facteur :

- pour le nombre de cibles : $F(2,696)=3,69$ et $p<=2,54^e-2$;
- pour le nombre de mains : $F(1,696)=19,41$ et $p=1,22^e-5$;
- pour le type de population : $F(1,696)=94,82$ et $p<2,2^e-16$.

Plusieurs interactions existent entre : le nombre de mains et le type de population ($F(1,696)=13,71.81$ et $p=2,31^e-4$) ; le nombre de cibles, le nombre de blocs et le type de population ($F(2,696)=4,56$ et $p=1,08^e-2$).

Une tendance entre le nombre de cibles et le type de population ($F(2,696)=2,78$ et $p=6,29^e-2$) est aussi présente, mais est expliquée par la deuxième interaction.

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le type de population (Cf. Figure 60) montre que seulement les jeunes adultes n'ont pas de différence significative entre eux avec l'utilisation d'une et deux mains. Nous pouvons aussi remarquer que les personnes âgées font

plus d'erreurs que les jeunes adultes et qu'elles réalisent plus d'erreurs avec l'utilisation de deux mains. Nous observons également une plus grande variabilité.

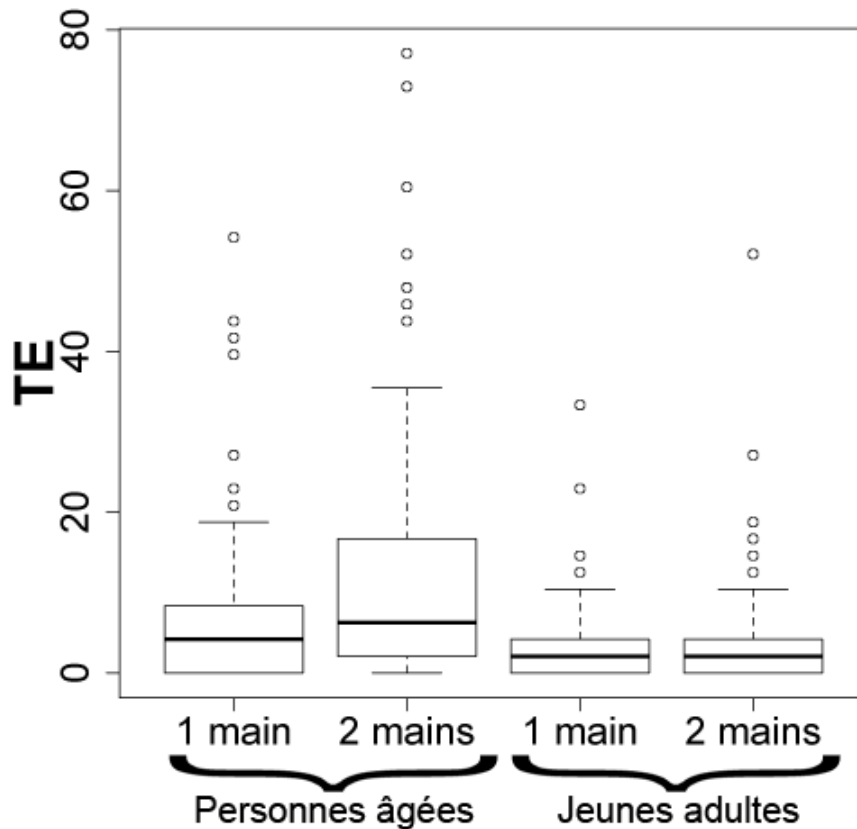


Figure 60 - TE en pourcentage en fonction du nombre de mains et du type de la population

L'analyse de l'interaction entre le nombre de cibles, le nombre de blocs et le type de population (Cf. Figure 61) montre que pour les jeunes adultes, le TE demeure stable indépendamment du nombre de cibles et du nombre de blocs. Cette observation est aussi valable pour les personnes âgées dans le cas d'une disposition en un bloc, mais n'est plus valable lors d'une disposition en deux blocs où l'augmentation du nombre de cibles entraîne un taux plus élevé d'erreurs. Nous observons aussi que les personnes âgées font toujours plus d'erreurs que les jeunes adultes sauf pour la configuration à 4 cibles et deux blocs. Dans ce cas, les personnes âgées sont aussi performantes que les jeunes adultes. Nous en déduisons que le découpage en deux blocs aiderait les personnes âgées à réduire leur nombre d'erreurs à condition de ne pas avoir trop de cibles.

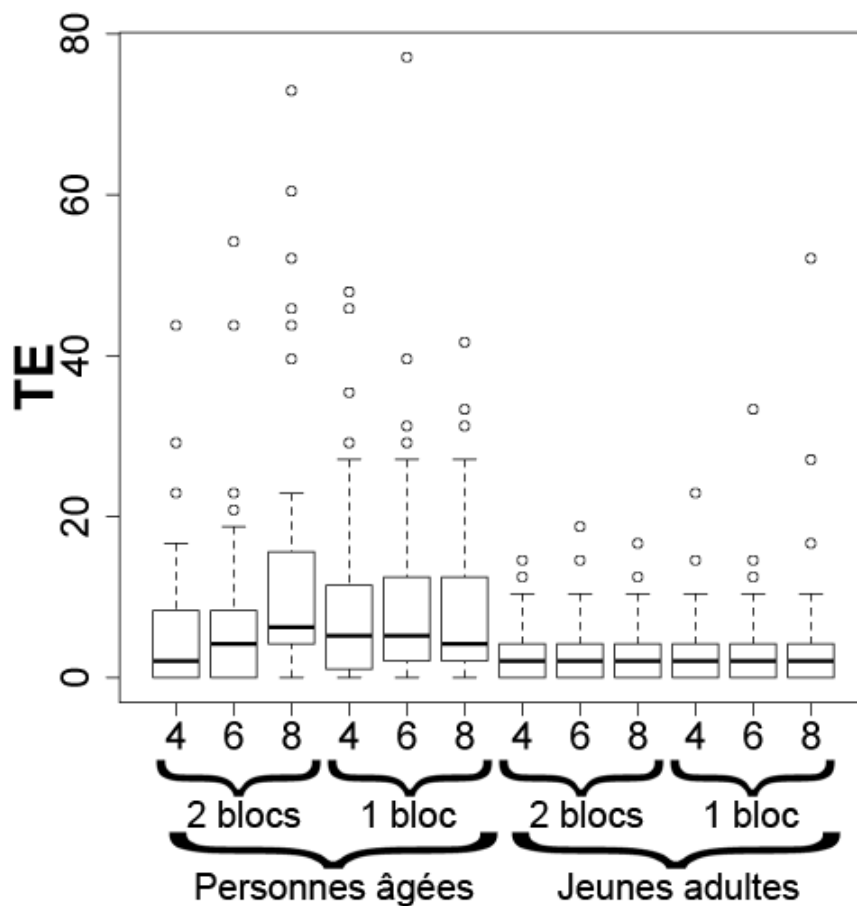


Figure 61 – TE en pourcentage en fonction du nombre de cibles, du nombre de blocs et du type de la population

Lorsque nous analysons plus spécifiquement la population des personnes âgées, nous remarquons au moyen d'une ANOVA à quatre facteurs que le nombre de cibles ($F(2,252)=3,46$ et $p=3,28^e-2$), le nombre de mains ($F(1,252)=17,63$ et $p=3,73^e-5$) et la tranche d'âge ($F(2,252)=23,14$ et $p=5,92^e-10$) sont significatifs. Une interaction existe entre le nombre de cibles et le nombre de blocs ($F(2,252)=3,73$ et $p=2,54^e-2$).

L'analyse du nombre de mains (Cf. Figure 62) montre que les personnes âgées réalisent plus d'erreurs avec l'utilisation de deux mains que lorsqu'ils utilisent une seule main. Ceci confirme les résultats que l'on retrouve avec l'analyse des deux populations.

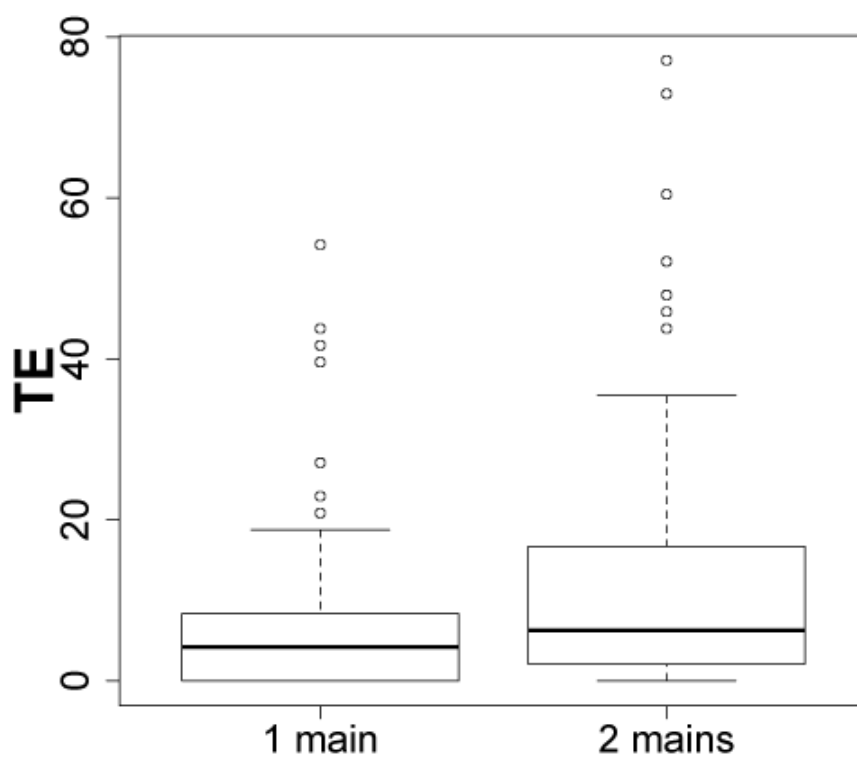


Figure 62 - TE en pourcentage en fonction du nombre de mains chez les personnes âgées

L'analyse de la tranche d'âge (Cf. Figure 63) montre que plus l'âge avance, plus le nombre d'erreurs augmente. Nous constatons également une variabilité accrue en fonction de l'âge.

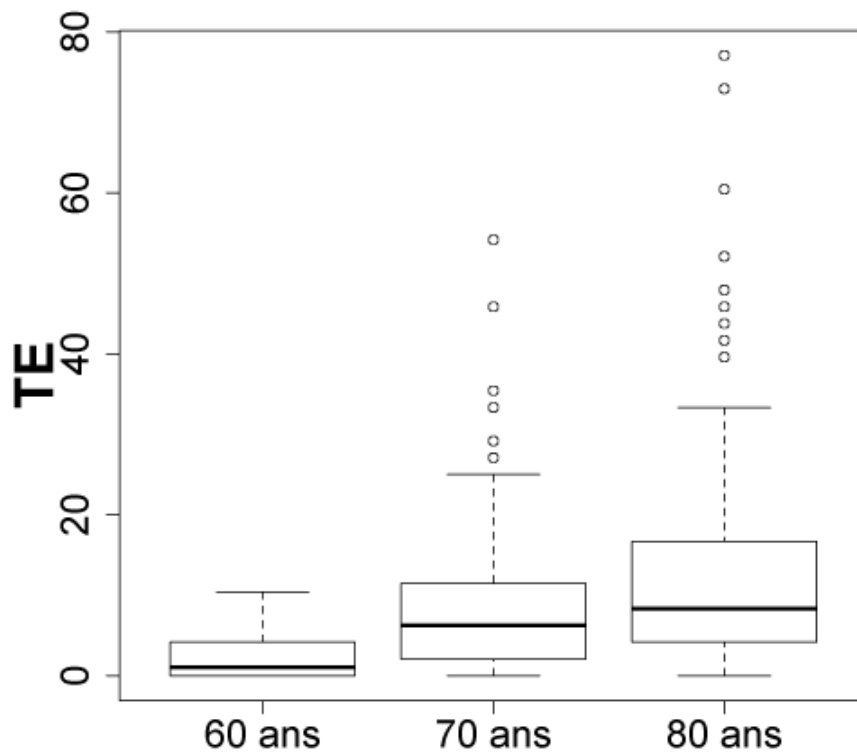


Figure 63 - TE en pourcentage en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées

L'interaction entre le nombre de cibles et le nombre de blocs (Cf. Figure 64) montre une différence entre le taux d'erreurs de la disposition à un bloc et celle à deux blocs. L'augmentation du nombre de cibles pour la disposition avec deux blocs augmente le taux d'erreurs tandis qu'il reste stable pour la disposition à un bloc.

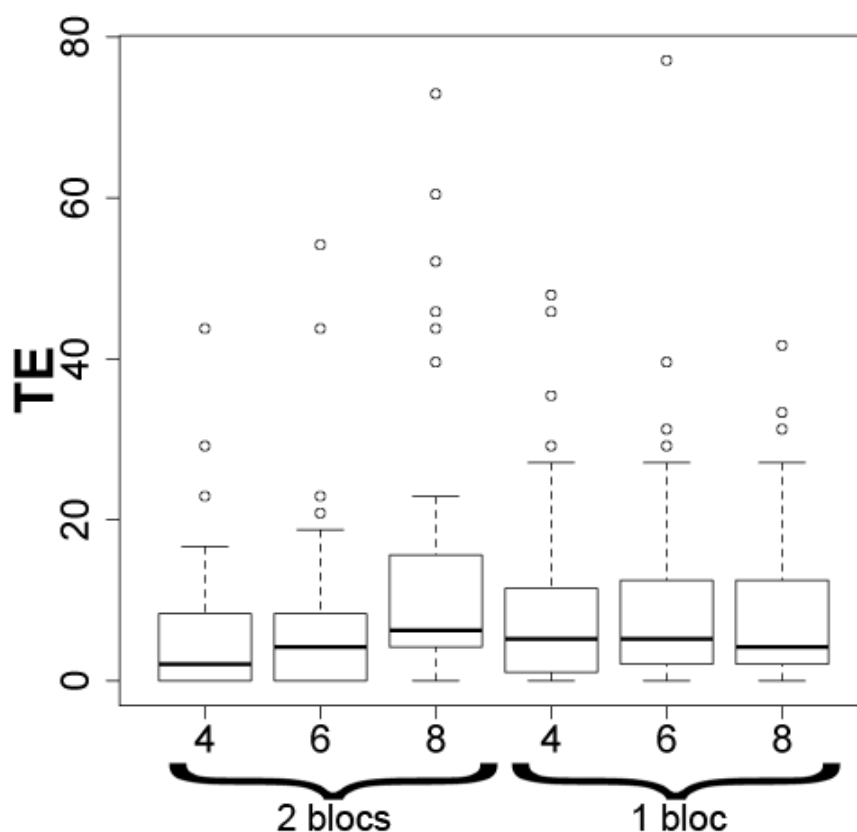


Figure 64 - TE en pourcentage en fonction du nombre de cibles et du nombre de blocs chez les personnes âgées

Le Temps d'Acquisition de la Cible

L'analyse du Temps d'Acquisition de la Cible (TAC) est effectuée pour chaque configuration (nombre de cibles et nombre de blocs différents). En effet, les couleurs n'étant pas les mêmes entre les différentes configurations, l'analyse par cible ne peut pas être commune pour toutes les configurations.

La configuration à quatre cibles et un bloc

Pour la configuration avec quatre cibles et un bloc, l'analyse ANOVA à trois facteurs montre que le type de population ($F(1,464)=547,21$ et $p<2,2^e-16$) et le couple couleur/position ($F(3,464)=7,1$ et $p=1,13^e-4$) sont significatifs.

Il existe une interaction entre chaque facteur : entre le nombre de mains et le couple couleur/position ($F(3,464)=2,96$ et $p=3,19^e-2$), entre le nombre de mains et le type de population ($F(1,464)=9,48$ et $p=2,2^e-3$) et entre le couple couleur/position et le type de population ($F(3,464)=2,88$ et $p=3,55^e-2$).

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le couple couleur/position (Cf. Figure 65) montre que l'utilisation de deux mains décale les cibles les plus rapides d'accès. Ceci est

probablement dû à la disposition des mains. En effet, par défaut les participants, et principalement les jeunes adultes, reviennent souvent au milieu de l'écran lorsqu'ils ont fini d'appuyer sur la cible, tandis que lorsqu'ils utilisent deux mains les cibles situées sur la droite sont plus rapides d'accès : la main droite est la main directrice pour la plupart des utilisateurs.

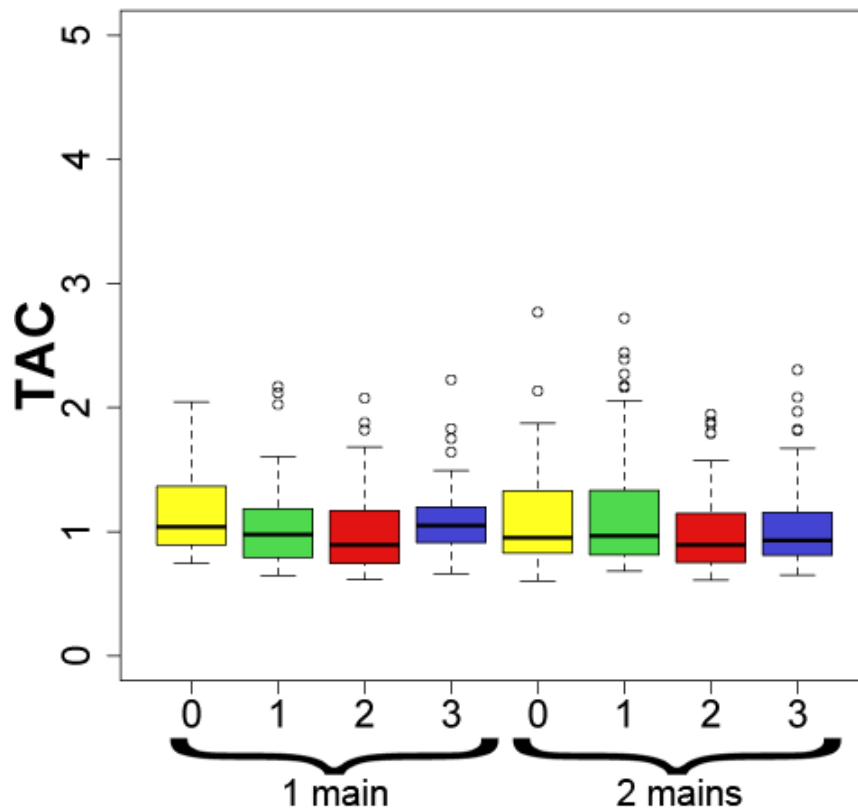


Figure 65 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du nombre de mains pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le type de population (Cf. Figure 66) montre que les jeunes adultes, indépendamment de l'utilisation d'une ou des deux mains, ont un TAC constant. Par contre chez les personnes âgées, l'utilisation de deux mains entraîne une perte de performance traduite par une augmentation du TAC.

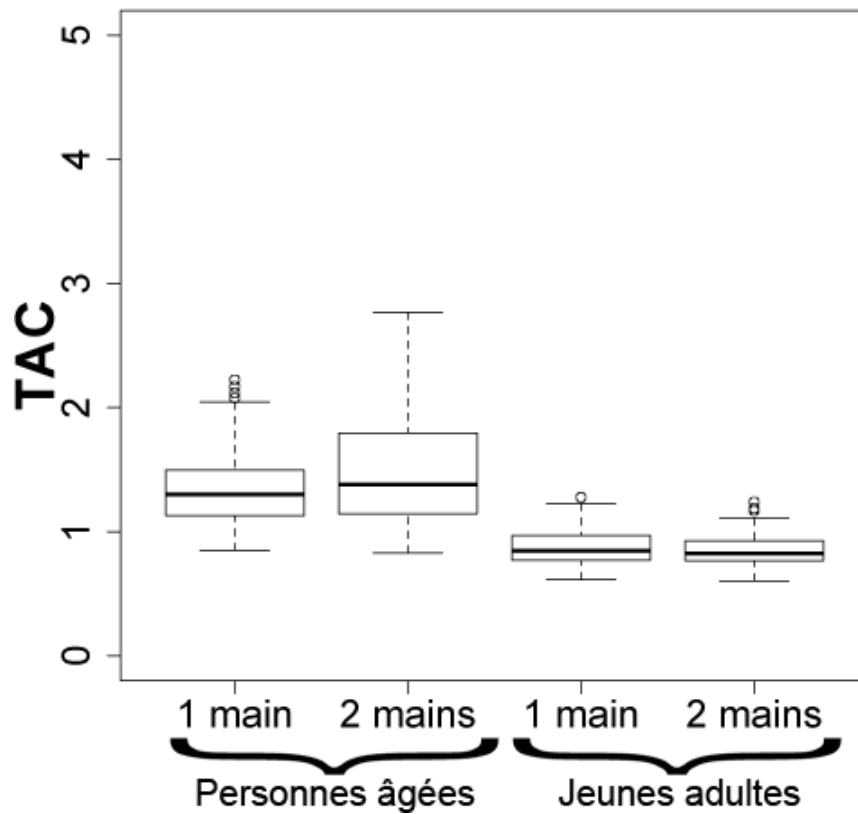


Figure 66 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 67) montre que le paramètre TAC est relativement indépendant de la position des cibles. A contrario des personnes âgées qui ont de meilleures performances avec le couple rouge/2 comparativement aux couples jaune/0 et vert/1.

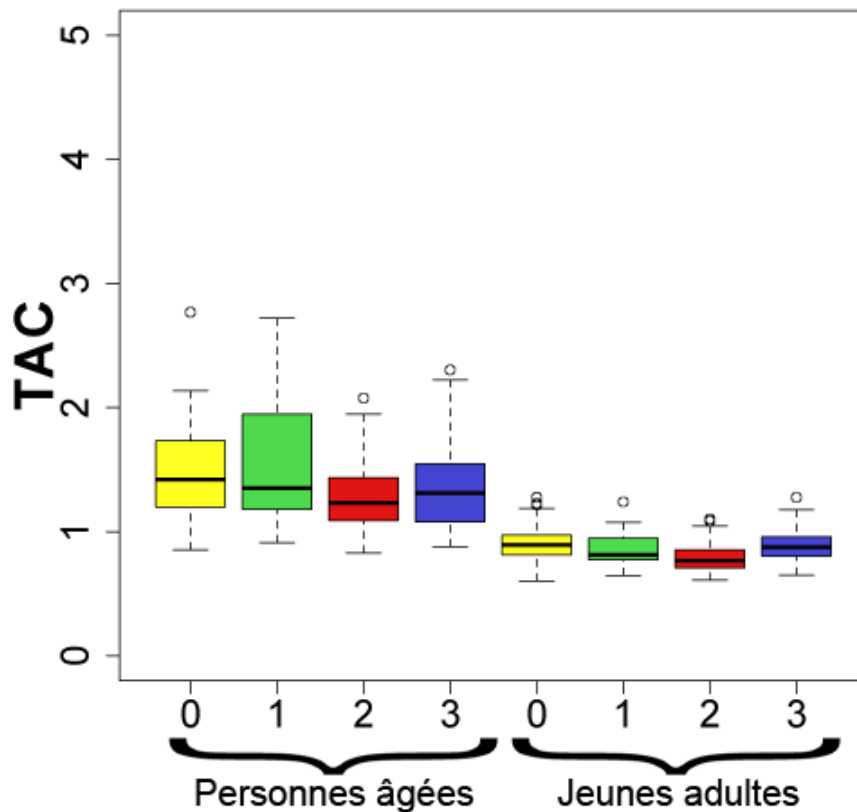


Figure 67 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc

L'analyse détaillée des personnes âgées avec une ANOVA à trois facteurs montre des différences significatives sur les trois facteurs : la tranche d'âge ($F(2,168)=21,86$ et $p=3,66 \times 10^{-9}$); le nombre de mains ($F(1,168)=5,45$ et $2,08 \times 10^{-2}$) et le couple couleur/position ($F(3,168)=3,78$ et $p=1,17 \times 10^{-2}$). Les résultats sur le nombre de mains et le couple couleur/position confirment les résultats précédents sur l'analyse des deux populations : les personnes âgées sont moins performantes avec deux mains et le couple rouge/2 plus performant que les couples jaune/0 et vert/1. Au niveau de la tranche d'âge (Cf. Figure 68), plus la tranche d'âge est élevée plus le TAC augmente.

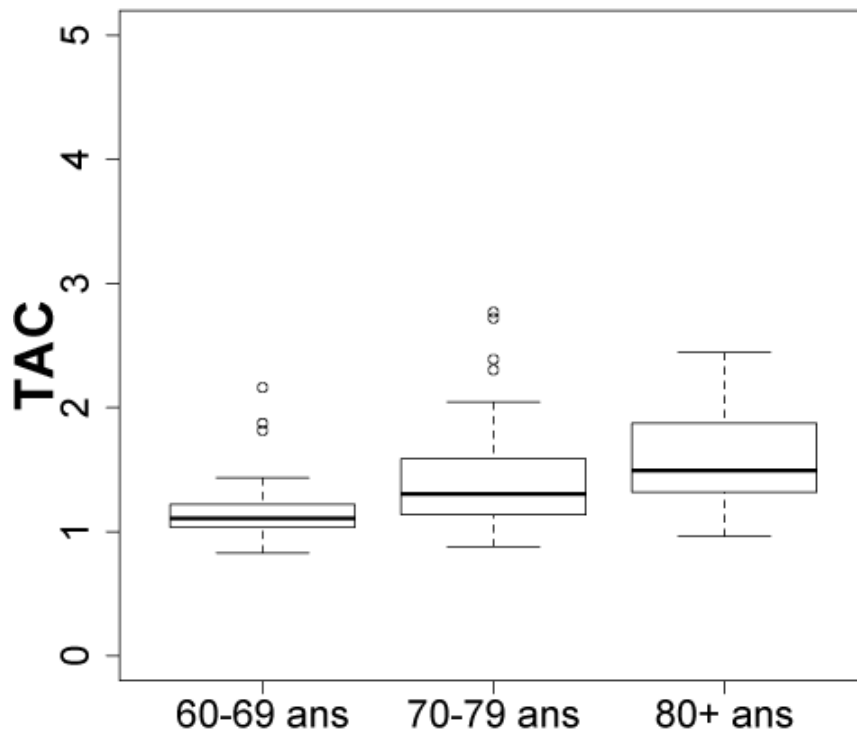


Figure 68 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 4 cibles et 1 bloc

La configuration à quatre cibles et deux blocs

Pour la configuration avec 4 cibles et deux blocs, l'analyse du TAC avec une ANOVA à trois facteurs montre que tous les facteurs sont significatifs : le type de population ($F(1,464)=526,25$ et $p<2,2^e-16$) ; le couple couleur/position ($F(3,464)=3,12$ et $p=2,57^e-2$) et le nombre de mains ($F(1,464)=5,47$ et $p=1,97^e-2$). Une interaction existe entre le nombre de mains et le type de population ($F(1,464)=7,51$ et $p=6,37^e-3$).

L'analyse du couple couleur/position (Cf. Figure 69) montre deux tendances entre le couple bleu/3 et les couples jaune/0 et vert/1. Le couple bleu/3 est par conséquent légèrement plus rapide que les deux autres précités.

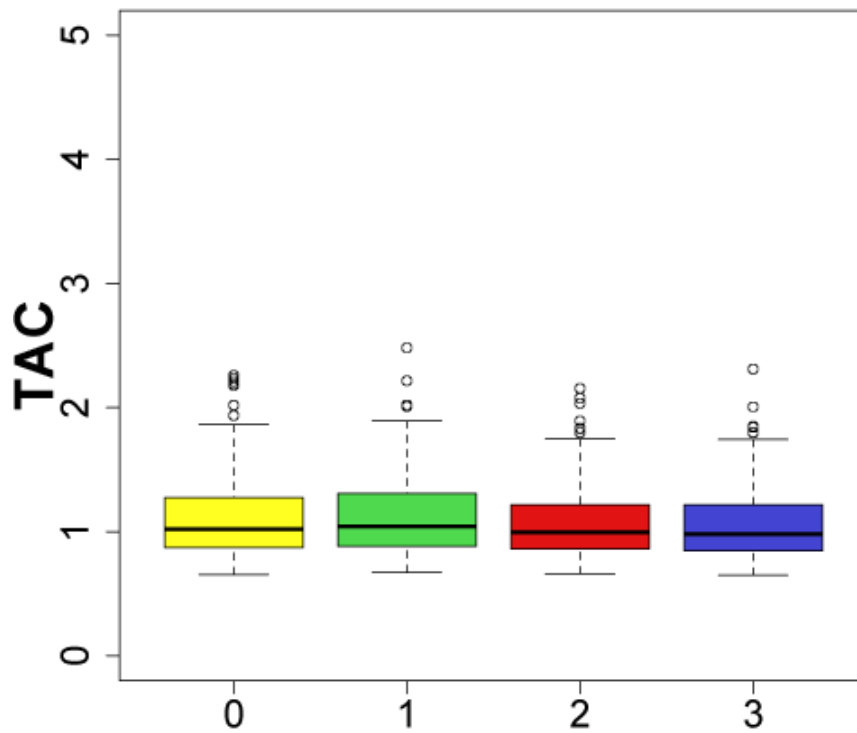


Figure 69 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position pour la configuration à 4 cibles et 2 blocs

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le type de population (Cf. Figure 70) montre que le nombre de mains utilisé n'apporte pas de changement de performance au niveau du TAC pour les personnes âgées alors que ça améliore les performances pour les jeunes adultes. Nous pouvons noter que les personnes âgées sont plus lentes que les jeunes adultes.

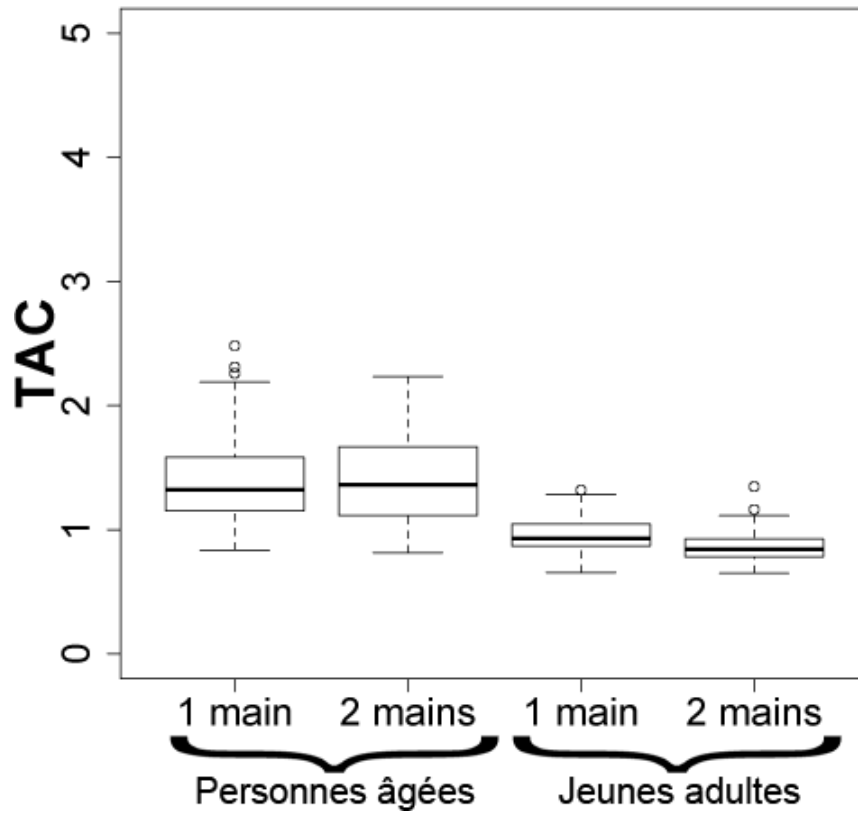


Figure 70 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population pour la configuration à 4 cibles et 2 blocs

L'analyse détaillée de la population âgée, à l'aide d'une ANOVA à trois facteurs, montre que seulement la tranche d'âge est significative. Comme pour la configuration avec quatre cibles et un bloc, plus la tranche d'âge est élevée plus les performances se dégradent (Cf. Figure 71). Comparativement à celle-ci, elle se dégrade même plus vite. Nous pouvons en déduire que l'utilisation de deux blocs augmente la charge cognitive et influence plus fortement les personnes d'un âge plus avancé.

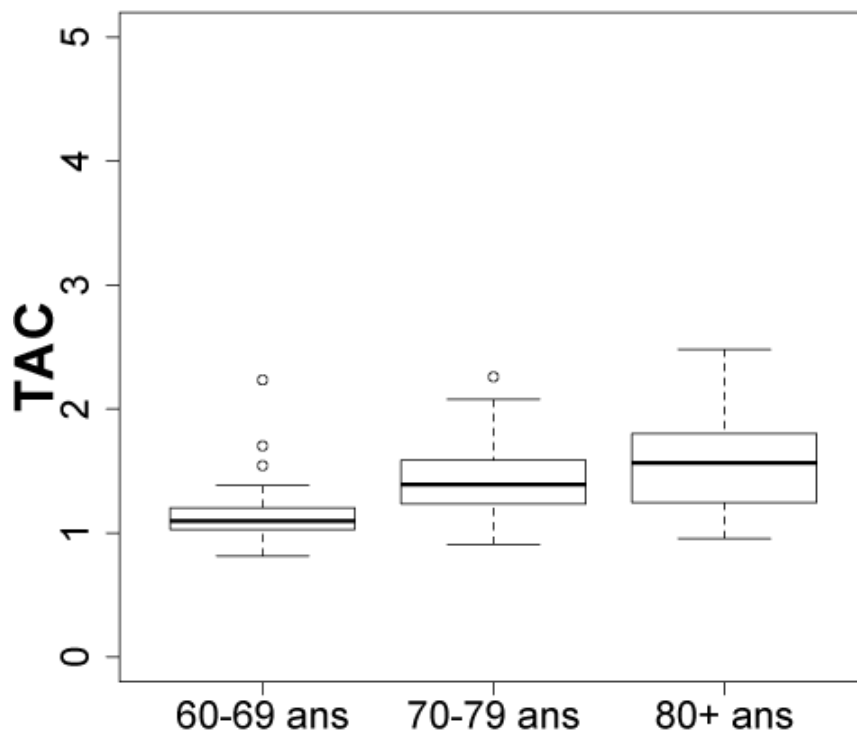


Figure 71 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 4 cibles et 2 blocs

La configuration à six cibles et un bloc

Pour la configuration avec six cibles et un bloc, l'analyse ANOVA à trois facteurs montre des différences significatives sur le couple couleur/position ($F(5,696)=17,59$ et $p<2,2^e-16$) et le type de population ($F(1,696)=613,09$ et $p<2,2^e-16$). Une tendance existe pour le nombre de mains ($F(1,696)=2,73$ et $p=9,89^e-2$). Il existe aussi une interaction entre chaque facteur : entre le nombre de mains et le couple couleur/position ($F(5,696)=3,25$ et $p=6,56^e-3$), entre le nombre de mains et le type de population ($F(1,696)=11,04$ et $p=9,4^e-4$) et entre le couple couleur/position et le type de population ($F(5,696)=3,61$ et $p=3,12^e-3$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le nombre de mains (Cf. Figure 72) montre que le couple rose/2 pose plus de problème avec l'utilisation de deux mains. Nous pouvons expliquer ce comportement par une difficulté plus accrue de définir quelle main est à utiliser. En effet, nous avons remarqué que les participants ont tendance à dépasser la « ligne » découpant les cibles en deux parties égales lors de la disposition en un bloc. La main directrice décalant cette « ligne » vers la gauche, la cible en position 2 se retrouve en zone ambiguë et demande un temps d'acquisition plus important.

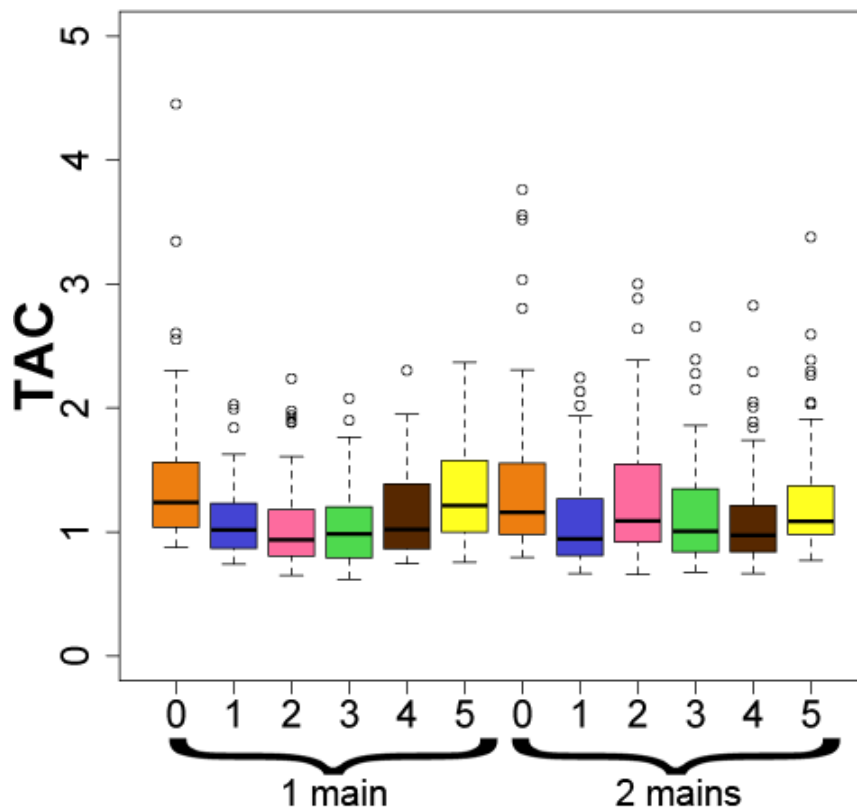


Figure 72 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du nombre de mains pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et le type de population (Cf. Figure 73) montre, comme pour la configuration avec quatre cibles et un bloc, que les personnes âgées ont des performances moins bonnes avec l'utilisation des deux mains tandis que les jeunes adultes ont des performances stables quel que soit le nombre de mains. Les personnes âgées mettant aussi plus de temps pour attendre les cibles que les jeunes adultes.

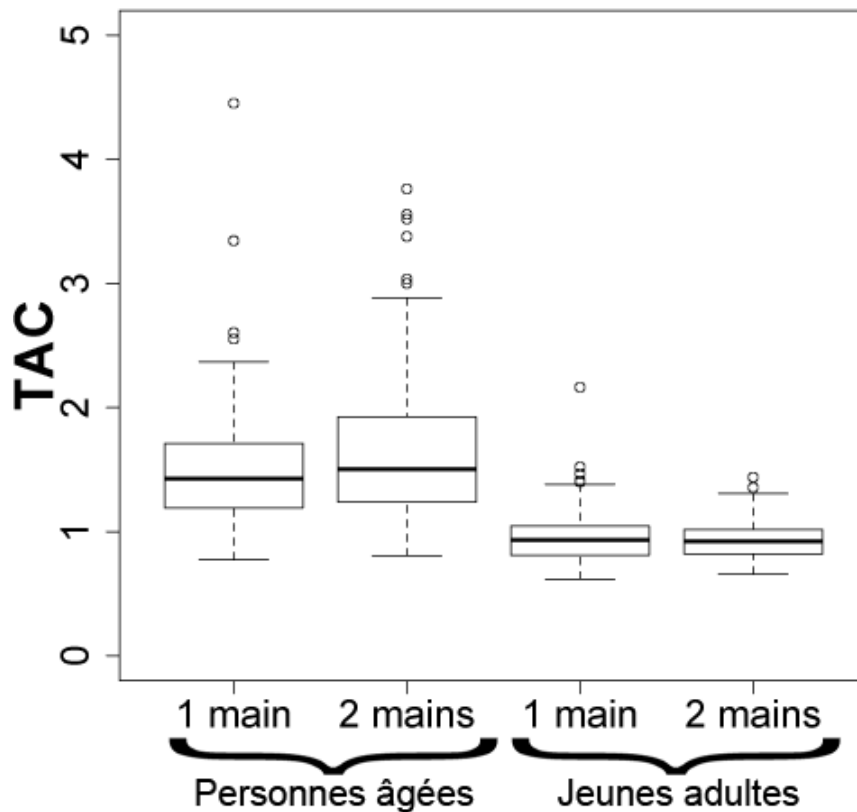


Figure 73 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et du type de la population pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 74) montre que les cibles sur les côtés posent plus de problèmes à cliquer pour les deux populations. Par contre, le couple rose/2 est moins efficace chez les personnes âgées : le passage à l'utilisation de deux mains réduit les performances sur cette cible. Nous pouvons supposer que la zone ambiguë entraîne plus de problèmes chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes.

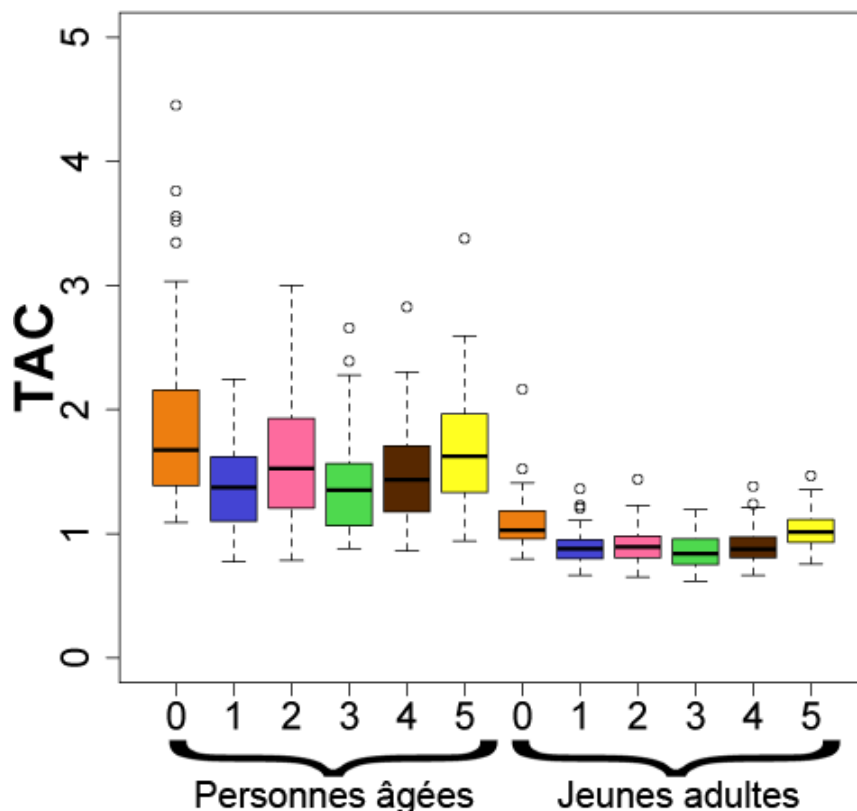


Figure 74 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc

Lorsque nous analysons la population âgée en détail, nous observons à l'aide d'une ANOVA à trois facteurs que tous les facteurs sont significatifs : la tranche d'âge ($F(2,252)=56,03$ et $p<2,2^e-16$), le nombre de mains ($F(1,252)=8,1$ et $p=4,8^e-3$) et le couple couleur/position ($F(5,252)=10,13$ et $p=7,42^e-9$). Une interaction existe entre la tranche d'âge et le nombre de mains ($F(2,252)=3,37$ et $p=3,6^e-2$).

L'analyse du couple couleur/position indique les mêmes résultats que lors de l'analyse précédente. Nous avons bien les couples jaune/5 et orange/0 qui se démarquent des autres couples.

L'analyse de l'interaction entre le nombre de mains et la tranche d'âge (Cf. Figure 75) montre que la difficulté de gérer deux mains est croissante avec l'âge. Plus on avance dans l'âge, plus le TAC croît. Le passage d'une main à deux mains entraîne une chute des performances seulement pour la tranche d'âge de quatre-vingts ans et plus. Nous observons aussi que les tranches d'âge se distinguent significativement les unes des autres hormis pour l'utilisation d'une main entre les tranches d'âge soixante-dix et quatre-vingts ans.

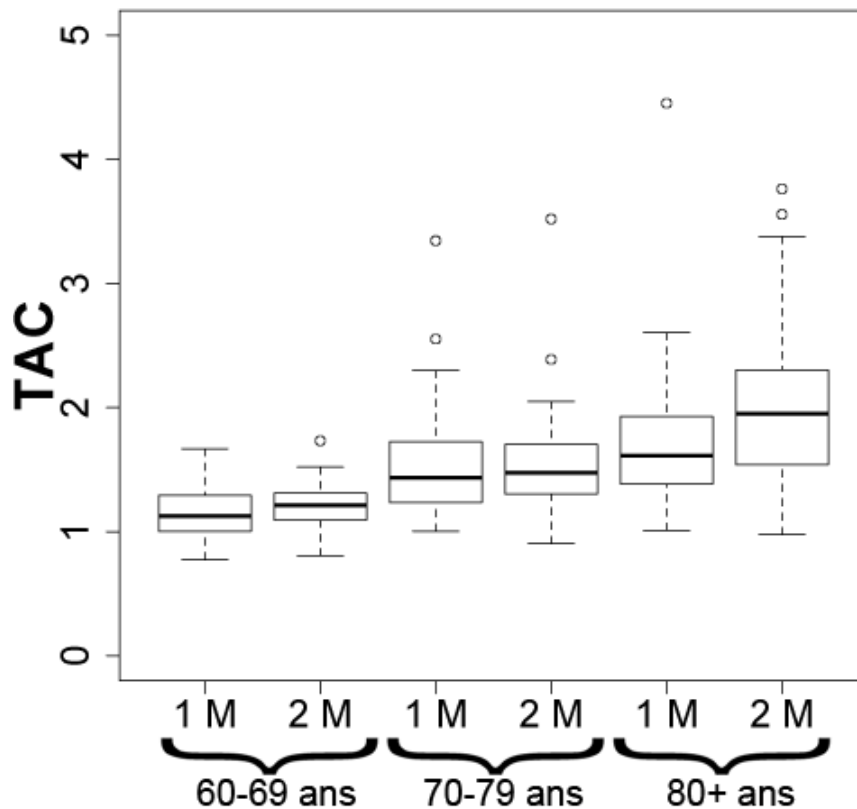


Figure 75 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains et de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 6 cibles et 1 bloc

La configuration à six cibles et deux blocs

Pour la configuration avec six cibles et deux blocs, l'ANOVA à trois facteurs montre que tous les facteurs sont significatifs : le nombre de mains ($F(1,696)=11,5$ et $p=7,35^e-4$), le couple couleur/position ($F(5,696)=8,13$ et $p=1,81^e-7$) et le type de population ($F(1,696)=727,07$ et $p<2,2^e-16$). Une interaction existe entre le couple couleur/position et le type de population ($F(5,696)=3,7$ et $p=2,6^e-3$).

L'analyse du nombre de mains (Cf. Figure 76) montre que l'utilisation de deux mains diminue le TAC.

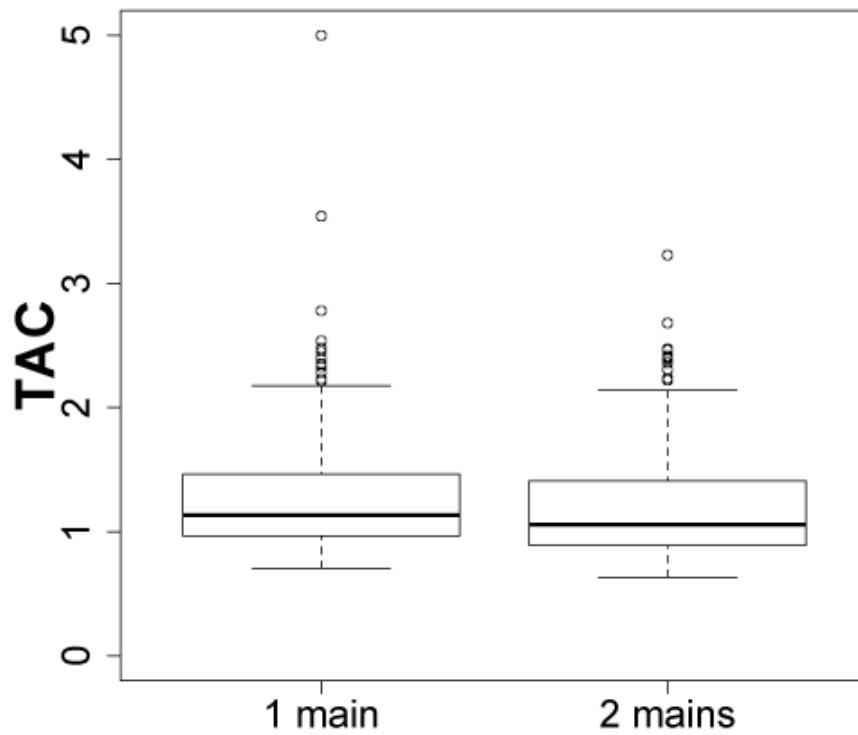


Figure 76 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains pour la configuration à 6 cibles et 2 blocs

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 77) montre que le couple orange/0 pour les personnes âgées pose plus de problèmes que les autres couples contrairement aux jeunes adultes.

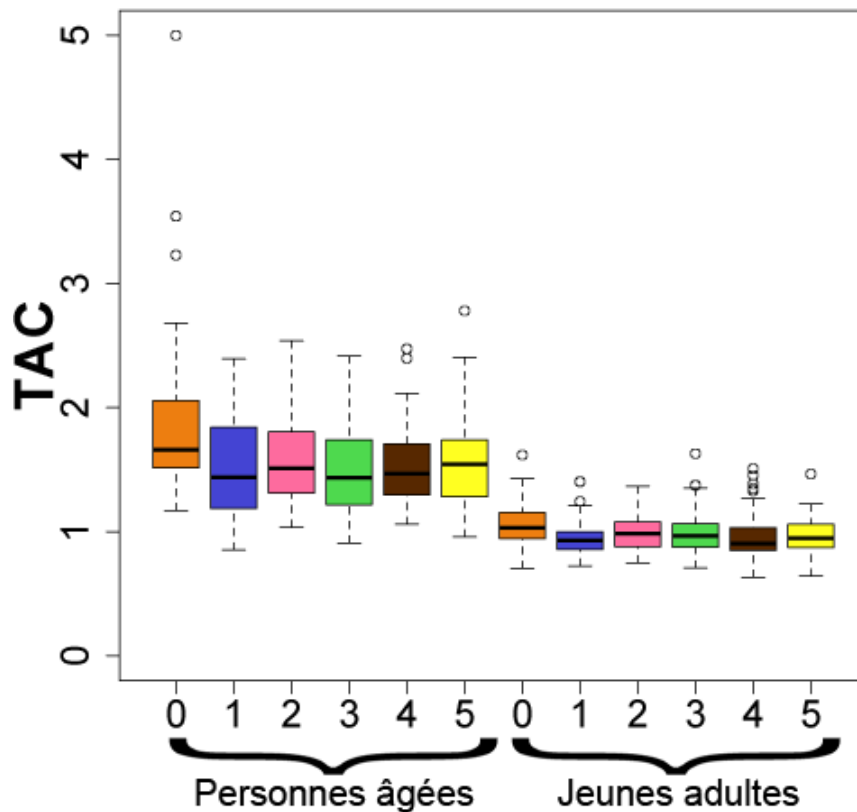


Figure 77 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 6 cibles et 2 blocs

Lorsque nous analysons en détail les personnes âgées, nous avons une différence significative au niveau des couples couleur/position ($F(5,252)=5,88$ et $p=3,67^e-5$) et au niveau de la tranche d'âge ($F(2,252)=35,63$ et $p=2,36^e-14$). Pour les couples couleur/position, nous retrouvons logiquement les mêmes résultats que pour l'analyse globale sur les populations avec le couple orange/0 se démarquant des autres couples pour les personnes âgées.

Pour l'analyse de la tranche d'âge (Cf. Figure 78), nous pouvons remarquer que plus la tranche d'âge augmente plus le TAC augmente.

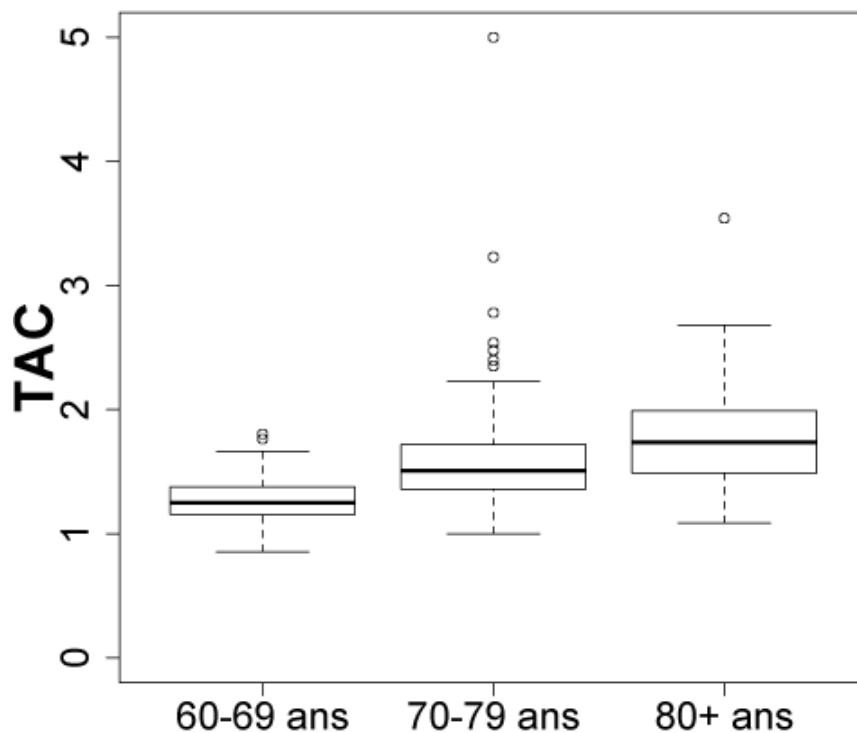


Figure 78 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 6 cibles et 2 blocs

La configuration à huit cibles et un bloc

Pour la configuration avec huit cibles et un bloc, l'ANOVA à trois facteurs montre que tous les facteurs sont significatifs : le couple couleur/position ($F(7,928)=5,06$ et $p=1,18^e-5$) ; le nombre de mains ($F(1,928)=4,83$ et $p=2,82^e-2$) et le type de population ($F(1,928)=989,44$ et $p<2,2^e-16$). Deux interactions existent : entre le couple couleur/position et le nombre de mains ($F(7,928)=3,62$ et $p=7,36^e-4$) et entre le couple couleur/position et le type de population ($F(7,928)=4,21$ et $p=1,4^e-4$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le nombre de mains (Cf. Figure 79) montre que le couple violet/3 est différent lors de l'utilisation de deux mains par rapport à l'utilisation à une main. Comme pour la configuration à six cibles et un bloc, nous formulons l'hypothèse que ce serait le fait que c'est la cible se situant sur la partie gauche de la « ligne » médiane.

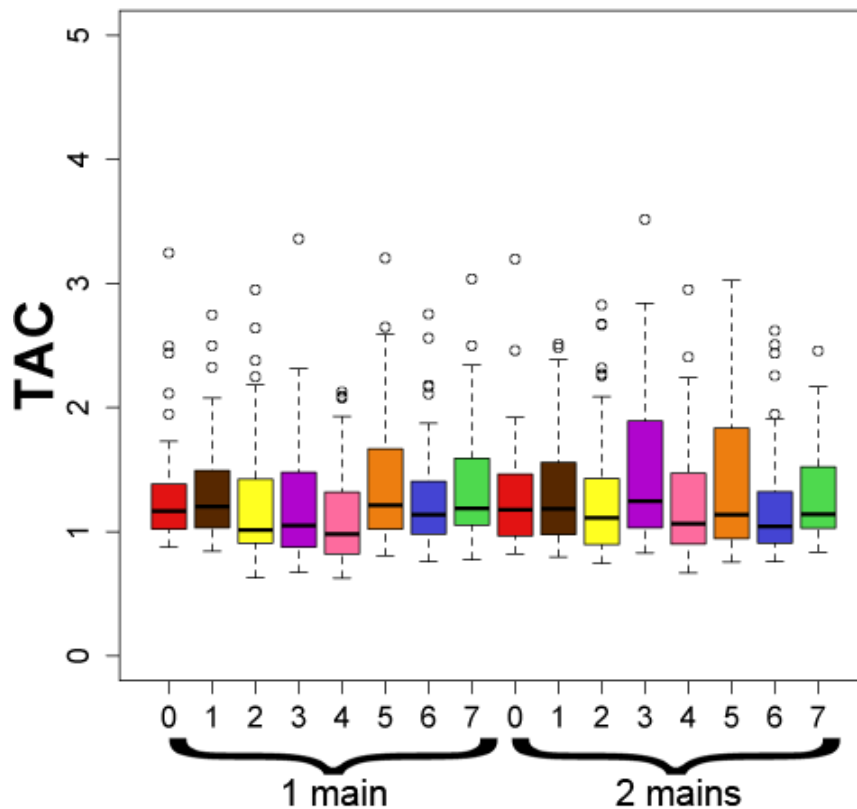


Figure 79 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du nombre de mains pour la configuration à 8 cibles et 1 bloc

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 80) montre, d'une part que les personnes âgées sont plus lentes que les jeunes adultes ; d'autre part que les couples violet/3 et orange/5 sont significativement différents chez les personnes âgées des autres couples. Ceci peut s'expliquer par la remarque précédente pour le couple violet/3 (« ligne » médiane décalée), tandis que pour le couple orange/5, ça s'explique probablement par un problème de perception avec la couleur orange.

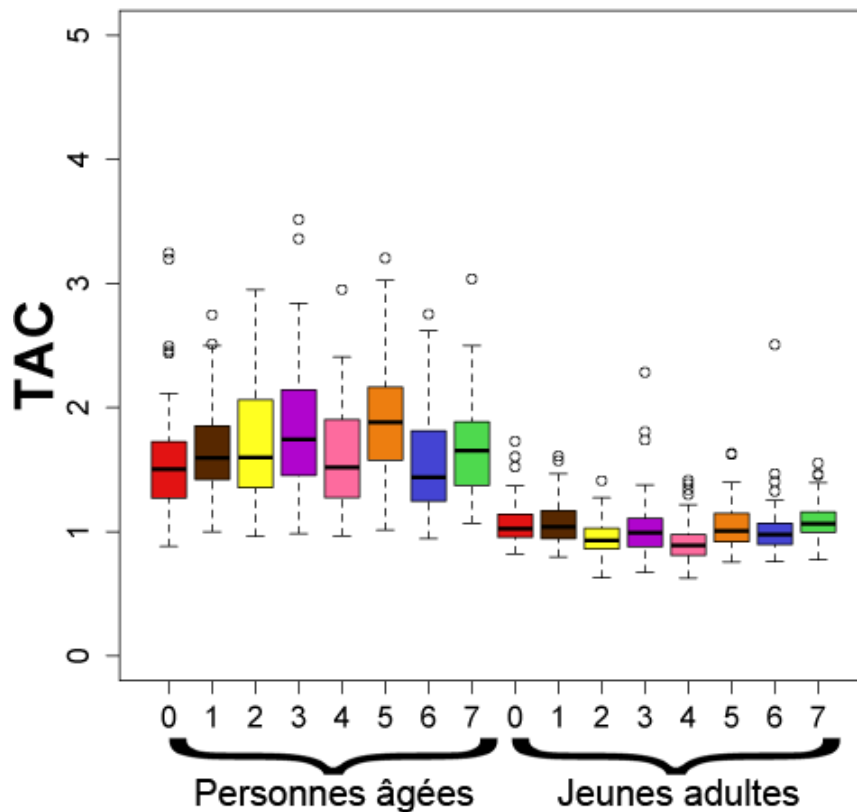


Figure 80 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 8 cibles et 1 bloc

L'analyse détaillée de cette configuration montre que le couple couleur/position ($F(7,336)=4,4$ et $p=1,1 \cdot 10^{-4}$), le nombre de mains ($F(1,336)=4,05$ et $p=4,5 \cdot 10^{-2}$) et la tranche d'âge ($F(2,336)=68,45$ et $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$) sont des facteurs significatifs. Une interaction existe entre le nombre de mains et le couple couleur/position ($F(7,1)=2,1$ et $p=4,27 \cdot 10^{-2}$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le nombre de mains montre, comme pour les résultats précédents, que le couple violet/3 a des problèmes d'utilisation.

L'analyse des tranches d'âge (Cf. Figure 81) montre que plus la tranche d'âge augmente, plus les performances chutent.

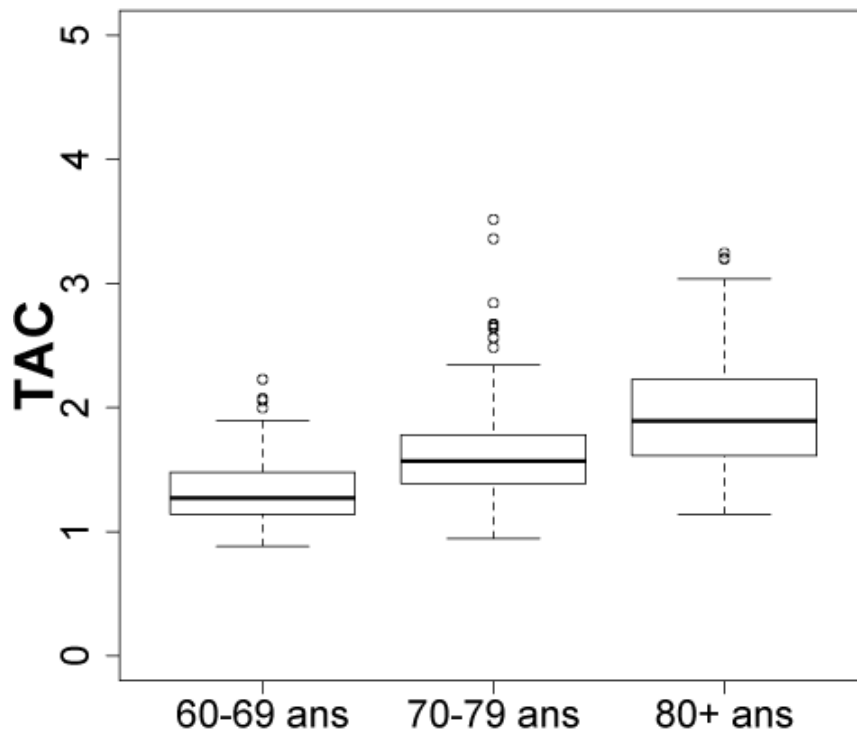


Figure 81 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 8 cibles et 1 bloc

La configuration à huit cibles et deux blocs

Pour la configuration avec huit cibles et deux blocs, l'ANOVA à trois facteurs montre des différences significatives sur tous les facteurs : le couple couleur/position ($F(7,928)=10,75$ et $p=4,49^e-13$), le nombre de mains ($F(1,928)=6,88$ et $p=8,85^e-3$) et le type de population ($F(1,928)=1076,69$ et $p<2,2^e-16$). Une interaction existe entre le couple couleur/position et le type de population ($F(7,928)=4,04$ et $p=2,24^e-4$).

L'analyse du nombre de mains (Cf. Figure 82) montre que lorsque les participants utilisent deux mains, le TAC est diminué.

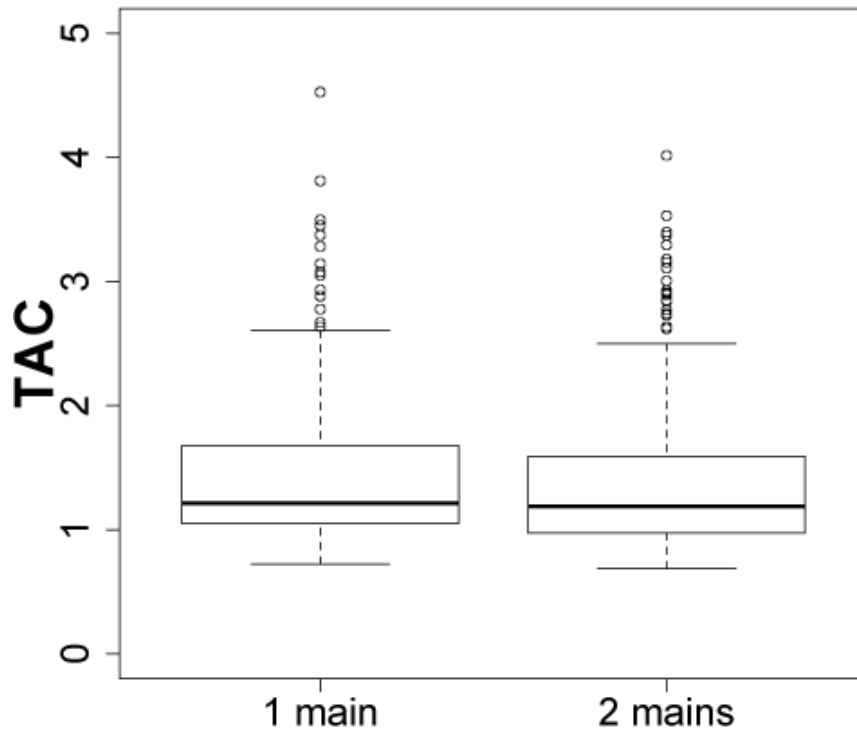


Figure 82 - TAC en secondes en fonction du nombre de mains pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs

Lorsque nous analysons l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 83), nous observons que les différences ne sont pas significatives pour les jeunes adultes tandis que pour les personnes âgées, les cibles citées (Cf. Figure 49 et Figure 50) comme potentiellement ambiguës en terme d'identification sont moins performantes (le violet avec le rose, l'orange avec le jaune).

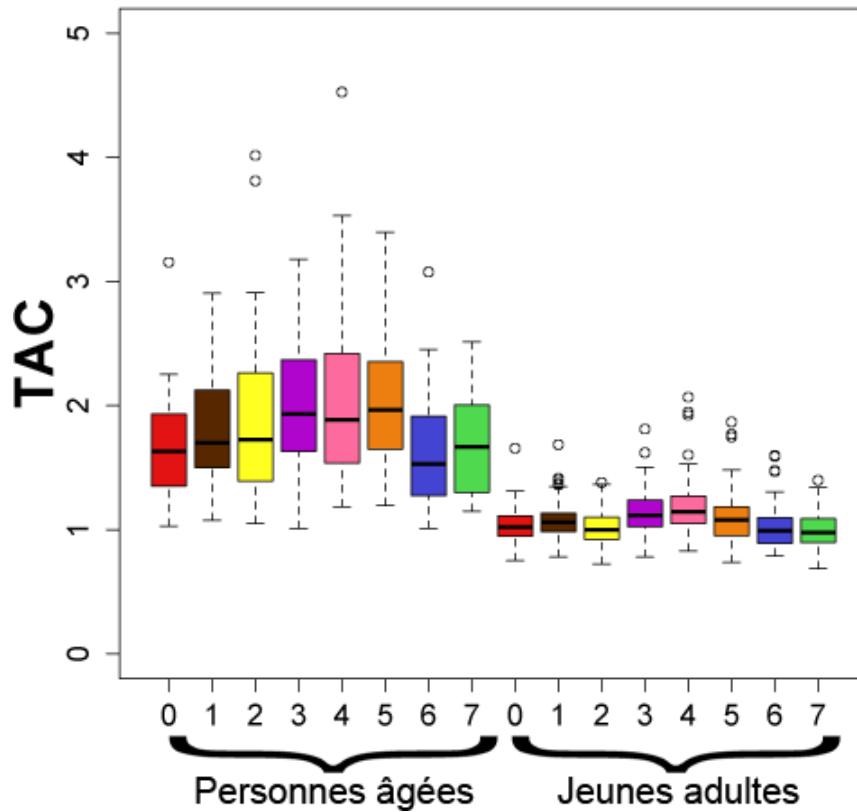


Figure 83 - TAC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de la population pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs

L'analyse détaillée de la population âgée montre des différences significatives pour le couple couleur/position ($F(7,336)=7,34$ et $p=3,28^e-8$) et pour la tranche d'âge ($F(2,336)=59,26$ et $p<2,2^e-16$). L'analyse du couple couleur/position montre les mêmes résultats que pour l'analyse non détaillée. Pour l'analyse de la tranche d'âge (Cf. Figure 84), nous remarquons que plus la tranche d'âge augmente, plus le TAC augmente.

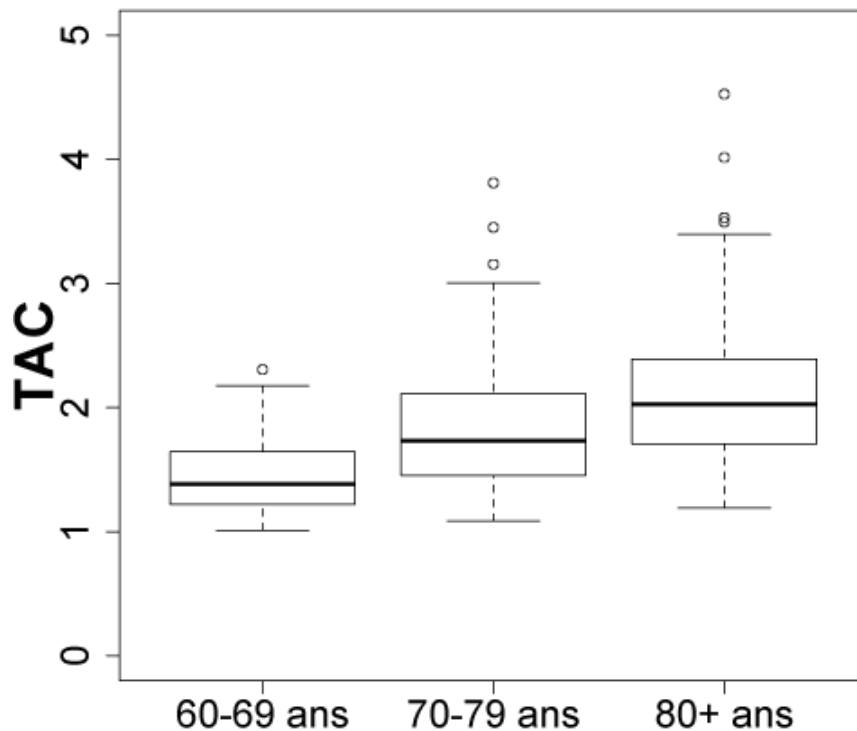


Figure 84 - TAC en secondes en fonction de la tranche d'âge chez les personnes âgées pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs

4) Discussions

De nombreux résultats intéressants émergent de cette expérimentation qu'ils soient pour les résultats quantitatifs ou pour les résultats qualitatifs. L'observation générale évidente c'est que les personnes âgées sont plus lentes que les jeunes adultes pour la réalisation des tests et que l'avancement de l'âge accroît cette différence. À cela, s'ajoutent diverses interprétations sur la fatigue, la perception des couleurs, le comportement face à la disposition des cibles, l'utilisation des mains, les préférences et les erreurs.

a) La fatigue

Nous ne pouvons pas comparer la fatigue entre les jeunes adultes et les personnes âgées, mais ce que nous observons, c'est un comportement inverse entre l'utilisation d'une main et de deux mains pour la fatigue motrice et la fatigue visuelle. L'utilisation de deux mains réduisant légèrement la fatigue motrice, mais augmentant légèrement la fatigue visuelle.

Il est aussi intéressant de noter que les personnes âgées qui sont fatiguées après la réalisation du deuxième test, le sont aussi au premier. Ce résultat est aussi observable pour la fatigue

visuelle. Cependant, l'évolution de la fatigue est plus importante pour la fatigue visuelle que pour la fatigue motrice. Mais dans les deux cas, cette évolution est assez légère en augmentation.

b) La perception des couleurs

Qualitativement, les personnes âgées ressentent avoir des problèmes de perception des couleurs. Les observations restent valables quel que soit le nombre de mains utilisées. Les deux mélanges de couleurs posant le plus de problèmes, d'après les personnes âgées, sont la distinction entre le rose et le violet et la distinction entre le jaune et l'orange.

Nous pouvons identifier, à partir des résultats quantitatifs, des problèmes de perception de couleurs sur le test avec la configuration à 6 cibles et 2 blocs ainsi que les configurations avec 8 cibles. La couleur orange pose des problèmes pour ces trois configurations avec les personnes âgées. À cette couleur s'ajoute les couleurs violet et rose pour la configuration à 8 cibles et 2 blocs. Les couleurs posant problème n'apparaissent que pour les configurations avec 6 et 8 cibles. C'est donc normal que les problèmes de perception des couleurs commencent avec 6 cibles. Pour la configuration à 6 cibles, la couleur violette n'est pas présente et il ne peut donc pas y avoir de confusion avec le rose.

Ces problèmes de perception de la couleur orange peuvent s'expliquer par une moins bonne distinction dans les nuances de couleur proche du jaune entraînant une hésitation plus importante sur l'analyse de la couleur perçue. Cette explication se rapproche de résultats montrant que la perception des couleurs jaunes décroît avec l'âge [Tavernier-Vidal et al., 1991].

c) La disposition des cibles

Pour les configurations avec 1 bloc, une baisse de performance apparaît au niveau de la cible se situant à la gauche du centre du bloc lors de l'utilisation de deux mains. Nous formulons l'hypothèse que c'est à cause du conflit lié au fait de savoir quelle main utilisée. Le décalage sur la gauche peut s'expliquer par la majorité de droitiers lors de la réalisation de nos tests. Cette difficulté est plus visible chez les personnes âgées où celle-ci apparaît dès le test à 4 cibles, tandis qu'elle apparaît chez les jeunes adultes à partir du test à 6 cibles. Nous pouvons expliquer ce comportement par le fait que la mémoire de travail chez les personnes âgées est moins performante lors de tâche de manipulation [Salthouse, 1994].

Les performances sont meilleures sur la partie droite de l'interface pour les configurations à 4 et 6 cibles chez les personnes âgées lorsqu'elles utilisent deux mains. Chez les jeunes adultes,

seulement les configurations à 4 cibles ont des performances plus importantes sur la partie droite. Ces deux observations s'expliquent par le fait que, comme précités, la majorité des utilisateurs sont droitiers. Lorsque la complexité augmente (8 cibles), les gains de temps apportés par une meilleure maîtrise de la main droite sont atténués par le temps de la recherche de la cible (plus le nombre de cibles est important, plus la recherche d'une cible croît selon la loi de Hick-Hyman).

d) L'utilisation des mains

Le passage de l'utilisation d'une main à deux mains sur les configurations à deux blocs entraîne logiquement des améliorations de performances vu que le déplacement à effectuer est réduit. Cependant, cette observation n'est pas valable pour la configuration à 4 cibles pour les personnes âgées. Le gain de déplacement apporté par les deux mains ne permet pas de compenser la charge cognitive demandée dans la gestion des deux mains pour une configuration à 4 cibles.

L'utilisation de deux mains, sur les configurations à base d'un bloc, n'est pas vraiment pertinente. Les performances sont équivalentes chez les jeunes adultes. Chez les personnes âgées, plus le nombre de cibles augmente, plus les effets de l'âge se font ressentir. À partir de 6 cibles, les personnes ayant 80 ans et plus sont moins performantes à deux mains et pour 8 cibles, elles sont toutes moins performantes.

e) Les préférences

Nous pouvons remarquer que les personnes âgées ont des avis partagés sur leur préférence de l'utilisation d'une ou deux mains. Lorsqu'elles utilisent une seule main pour réaliser le test, elles préfèrent globalement la disposition avec un seul bloc. Tandis que lorsqu'elles utilisent deux mains, elles sont indécises sur la disposition qu'elles préfèrent. De ce dernier résultat, nous en déduisons que les personnes âgées, avec deux mains, ne considèrent pas l'utilisation d'une disposition à un bloc comme beaucoup plus pénalisante qu'une disposition en deux blocs. Nous en concluons qu'elles s'adaptent plus facilement à une disposition particulière avec l'utilisation de deux mains plutôt qu'avec l'utilisation d'une main. Ce résultat peut expliquer pourquoi les préférences sur le nombre de mains à utiliser (une ou deux mains) sont proches. Une partie des personnes âgées préfèrent utiliser deux mains car moins pénalisant sur la variété de disposition.

Les personnes âgées n'ont globalement pas de préférence sur le nombre de cibles à utiliser. Ce résultat est valable pour l'utilisation d'une main ou de deux. Par contre, elles préfèrent

dans les autres cas, l'utilisation d'un nombre de cibles le plus réduit possible. La préférence se réduisant avec l'augmentation du nombre de cibles.

En comparant ces résultats aux résultats quantitatifs sur le TRT, les personnes âgées ne considèrent probablement pas le temps comme un critère de préférence sur la réalisation du test sinon le nombre de personnes préférant un nombre de cibles moins important serait supérieur.

f) Les erreurs

Pour ce qui est des erreurs commises lors de la réalisation de l'expérimentation, les personnes âgées réalisent globalement plus d'erreurs avec deux mains qu'avec une. Nous remarquons aussi que le nombre d'erreurs avec une disposition sur les côtés est proportionnel à la difficulté de l'interaction chez les personnes âgées. L'accroissement de l'âge est corrélé à l'augmentation du nombre d'erreurs chez les personnes âgées.

La différence en nombre d'erreurs entre les jeunes adultes et les personnes âgées se fait surtout sur deux types d'erreurs : les erreurs de clic sur une mauvaise cible et les erreurs de clic sur un bord de cible. Pour les erreurs de clic sur une mauvaise cible, nous remarquons un comportement proche entre les jeunes adultes et les personnes âgées si ce n'est un décalage moyen de deux erreurs. Pour les deux populations, sur ce type d'erreurs, elles en réalisent un peu plus avec l'utilisation de deux mains. Pour les erreurs de clic sur les bords, le comportement est différent. Le passage à l'utilisation de deux mains entraîne des erreurs supplémentaires pour les personnes âgées tandis que les jeunes adultes n'augmentent pas leur nombre d'erreurs de ce type.

Nous en déduisons que la disposition en deux blocs n'aide pas à discerner mieux les couleurs et que l'utilisation de deux mains réduit la précision de clic sur les cibles.

Toutes ces discussions nous permettent de définir des recommandations de conception qu'il faudra valider par des expérimentations plus complètes et plus précises sur chacune de ces recommandations, mais qui permettent déjà d'avoir une idée sur ce qu'il faut ou ne pas faire pour concevoir des interfaces pour des personnes âgées.

5) Conclusions

Cette expérimentation nous a permis de détecter de nombreux points intéressants quant à l'amélioration des interfaces pour les personnes âgées. À partir des discussions, nous pouvons sortir des recommandations très intéressantes et portant sur différents points :

- l'avancée en âge entraîne des chutes de performances, il faut donc faire attention de prendre en compte le public de personnes âgées visé ;
- le choix des couleurs et la disposition de celles-ci vis-à-vis des autres sont primordiaux pour une bonne compréhension de l'interface ;
- un découpage de l'interface en deux blocs plutôt que l'utilisation d'un seul bloc permet une meilleure utilisation des deux mains ;
- le temps n'est pas le critère fondamental chez les personnes âgées, il est donc plus intéressant de réduire le risque d'erreur et limiter les ambiguïtés ;
- lorsque la complexité de l'interface n'est pas trop importante, il est conseillé de placer les éléments proches de la position par défaut de la main directrice.

Ces travaux ont été partiellement publiés à [Lepicard et Vigouroux, 2010a] et [Lepicard et Vigouroux, 2010b].

D. Test sur la mémorisation au travers d'un procédé d'apprentissage

1) L'existant

Pour l'optimisation spatiale de l'interaction, une problématique est de gagner en surface d'affichage pour limiter la quantité d'informations affichées et augmenter le focus sur la tâche principale. Pour pouvoir gagner en surface, il existe plusieurs solutions : réduire le nombre d'éléments sur l'interface, mais bloquant lorsque la réduction maximale est atteinte ; réduire leur taille, mais il faut respecter une taille minimale pour une bonne utilisation sur écran tactile [Jin et al., 2007] ; ou enlever les éléments pour les remplacer par une reconnaissance de geste associée à des actions définies ou des zones invisibles, mais ayant un sens associable à une action.

L'interaction à base de gestes sur une surface à deux dimensions est un domaine où de nombreux travaux ont été effectués [Rubine, 1992], [Appert et Zhai, 2009], [Li, 2010], etc. [Chaparro et al., 1999] et [Wood et al., 2005] ont montré que les personnes âgées ne maîtrisent pas bien le « glisser & déposer » sur un écran tactile comparativement à des clics. Il est par conséquent intéressant d'étudier les performances d'une interface avec des zones actionnables, mais invisibles chez les personnes âgées.

Il faut tenir compte que la mémoire chez les personnes âgées se dégrade avec l'avancée en âge. La mémoire à court terme se voit affectée [Zaphiris et al., 2005], [Hanson, 2009]. Pour Hanson, la vitesse de raisonnement est aussi affectée avec l'âge. Toutefois, la mémoire basée sur l'éducation et l'expérience ne se perd pas. Nous pouvons nous demander à partir de quand un apprentissage se transforme en expérience et ne se perd pas. Il faut par contre faire attention au nombre d'éléments introduits à mémoriser.

Nous proposons une expérimentation permettant de mettre en évidence les difficultés potentielles des personnes âgées sur une interface avec des éléments cachés.

2) Protocole

a) Participants

Dix-huit personnes de 21 à 51 ans (avec une moyenne de 32,11 ans et un écart type de 9,23) ont participé à cette expérience ainsi que neuf personnes âgées de 72 à 88 ans (avec une moyenne de 80,44 ans et un écart type de 5,43) sans déficience cognitive lourde. Cette

contrainte a été vérifiée en posant la question à un proche et à la personne elle-même. Pour tous les sujets, les déficiences visuelles sont comblées par le port de lunettes si nécessaire. Les deux populations ont été comparées afin d'étudier l'impact de l'âge sur les performances.

b) Réglages des paramètres fixes de l'expérimentation

Dans cette expérimentation, plusieurs paramètres de la plateforme EPTE ont été fixés afin de limiter le nombre de variables indépendantes.

La taille de la cible a été fixée à une taille de 100x100 pixels ce qui équivaut à une taille de 2 centimètres sur 2 centimètres sur l'écran de l'expérimentation. Cette taille a été choisie en se basant sur les résultats de [Jin et al., 2007] pour permettre un meilleur temps de réponse pour les personnes âgées sur l'écran tactile.

Le temps d'apparition de la consigne a été fixé à 10 secondes. Ce nombre a été réglé en doublant le temps alloué lors du premier test vu qu'une étape de clic supplémentaire est nécessaire pour la réussite de la consigne.

Le type de représentation des cibles a été fixé sur des couleurs pour limiter au maximum la sémantique de la cible. Comme pour l'expérience précédente, nous avons retenu huit des onze couleurs nommées décrites par [Van der Broek et al., 2007] : le rouge, le vert, le bleu, l'orange, le jaune, le marron, le rose et le violet ; les couleurs nommées exclues sont le blanc, le noir et le gris.

La disposition des cibles a été fixée en un bloc situé en bas de l'écran. Ce placement n'est pas anodin. Il se justifie par les raisons suivantes : éviter d'avoir le bras sans soutien sur la table et ainsi réduire la fatigue ; éviter de cacher l'écran avec le bras ; augmenter les performances de la vision, car celle-ci est plus efficace dans le champ inférieur [Po et al., 2004]. Chaque cible est équidistante avec la ou les cibles situées sur ses côtés.

Pour chaque test, en fonction du nombre de cibles, nous avons un ordre de couleurs fixé : jaune, vert, rouge, bleu pour 4 cibles ; orange, bleu, rose, vert, marron, jaune pour 6 cibles ; et rouge, marron, jaune, violet, rose, orange, bleu, vert pour 8 cibles. Pour positionner plus facilement chaque couleur, nous parlons d'un couple associant couleur et position. Sur l'exemple de la Figure 85, nous avons jaune/0, vert/1, rouge/2 et bleu/3.



Figure 85 - Interface du test d'apprentissage

c) Variables indépendantes

Ce test comporte deux variables indépendantes :

- **L'étape d'apprentissage.** Pour expliquer cette variable, il faut d'abord présenter la notion du masque et de sa transparence.
 - **La transparence ou non du masque.** Le masque est représenté par un rectangle occupant toute la largeur de l'écran, se situant en bas de l'écran et au-dessus des cibles afin de les recouvrir. Le rectangle est de couleur noire avec un cadre blanc : il est, soit opaque (opacité à 100%), soit transparent (opacité à 50%). Lorsqu'il est transparent, il change la perception directe de la couleur par rapport à la consigne en réduisant sa luminosité, mais la distance entre chaque couleur ne change pas. Les personnes âgées ne comprenaient pas la notion de transparence d'un objet graphique d'une interface. Pour pallier ce problème, une métaphore a été utilisée lors de l'explication de l'interaction : la notion de feuille. La feuille a deux états : soit elle est de type papier Canson et donc ne permet pas de voir à travers, soit elle est de type papier-calque.

L'étape d'apprentissage est découpée en quatre parties. La première étape d'apprentissage correspond au cas où le masque est dans l'état transparent. Les trois autres étapes sont identiques et correspondent au cas où le masque est opaque. Ces

étapes sont toujours dans cet ordre afin de permettre lors de la première étape d'apprendre la position des couleurs et ainsi de voir comment l'apprentissage évolue lors des trois autres étapes. Chacune des étapes a été nommée afin de la différencier des autres. Elles portent le nom suivant : T (pour l'étape d'apprentissage avec le masque transparent), O1 (pour la première étape d'apprentissage avec le masque opaque), O2 et O3 (deuxième et troisième étape d'apprentissage avec le masque opaque) ;

- **Le nombre de cibles.** Les différents nombres de cibles sont les mêmes que ceux de l'expérience précédente : ils sont égaux à 4, 6 ou 8 cibles. Ce choix s'explique pour faciliter la comparaison au niveau des deux expérimentations.

d) Variables dépendantes

Ce test comporte quatre variables dépendantes : le Temps de Complétion du Test (TCT), le Taux d'Erreur (TE), la Précision de Localisation de la Cible (PLC) et le Temps de Localisation de la Cible (TLC). Celles-ci sont définies plus en avant dans le rapport (Cf. B.5)b)).

e) Procédures

Le participant est d'abord invité à donner son accord pour l'exploitation des résultats recueillis lors de l'expérimentation par l'intermédiaire d'une lettre de consentement éclairé (Cf. Figure 86). Ensuite, il est amené à remplir une feuille de renseignements où figurent diverses questions permettant de mieux le connaître et d'identifier potentiellement des facteurs qui pourraient influencer les résultats.

À la suite de ce questionnaire, un prétest est réalisé pour s'assurer :

- que le participant comprend bien le principe de fonctionnement d'appui sur les cibles ;
- qu'il comprend le principe de fonctionnement du masque ;
- qu'il distingue bien les huit couleurs qui sont utilisées dans ce test par une tâche de dénomination des couleurs.

Ensuite, le participant réalise l'expérimentation. Celle-ci est composée de trois séries de tests (une pour chaque valeur que peut avoir le nombre de cibles : 4, 6 et 8). Chaque série est elle-même subdivisée en deux parties: le passage du test et un questionnaire post test permettant de récupérer les impressions de l'utilisateur sur son état de fatigue et sur ses préférences.

Le passage du test est lui-même découpé en quatre sous tests. Ces sous tests correspondent aux quatre étapes d'apprentissage précitées : T, O1, O2 et O3.

Le test complet comporte donc douze sous tests avec six configurations différentes : 2 (masque opaque ou transparent) * 3 (nombre de cibles égal à 4, 6 ou 8).

Pour les jeunes adultes, l'ordre de passage des tests est contre balancé afin de supprimer les effets d'apprentissage qui pourraient intervenir. Pour les personnes âgées, l'ordre de passage a été fixé de manière à leur faciliter l'accès au test : difficulté croissante avec d'abord 4 puis 6 et enfin 8 cibles. Ce choix d'ordre de passage s'explique par le fait que lors des prétests, quelques personnes âgées n'étaient pas capables de réaliser le test avec 8 cibles et se bloquaient dès le début empêchant de réaliser le test jusqu'à son terme. En effet, l'apprentissage de nouveaux concepts (connaissances, procédure) est plus lent chez les personnes âgées [Hickey et al., 2009]. Il est conseillé d'utiliser un apprentissage procédural plutôt que conceptuel [Mead et Spaulding Johnson, 1999] et favoriser un apprentissage progressif pour donner plus de confiance dans le système [Gregor et al., 2002]. C'est pourquoi contrairement aux jeunes adultes, l'ordre de passage des tests pour les personnes âgées a été fixé avec une difficulté croissante.

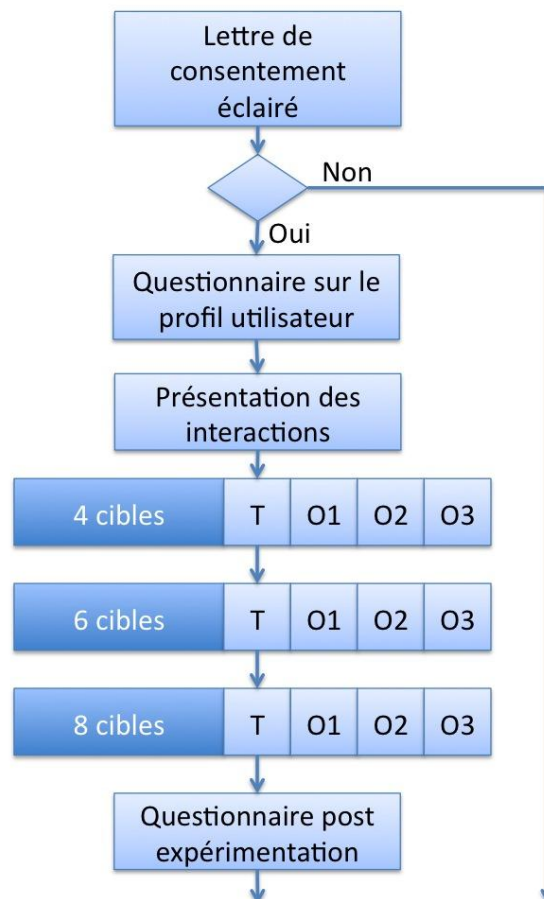


Figure 86 - Synoptique de l'expérience de mémorisation pour les personnes âgées

Pour chaque consigne, le participant doit réaliser deux actions. La première consiste à appuyer sur le masque à l'endroit où il pense que la cible correspondant à la consigne se

trouve. La seconde est, après que le masque ait disparu, d'appuyer sur la cible correspondant à la consigne. Il est à noter que le participant n'a pas de déplacement à faire si celui-ci a bien situé la cible lors de la première action. Le nombre d'actions peut être plus élevé si le participant ne clique pas au bon endroit.

Il existe trois cas d'erreurs de clic avec deux conséquences différentes : un clic dans le vide ou sur le bord d'une cible génère une erreur au niveau des traces récupérées, mais rien de visible au niveau du test ; un clic sur une mauvaise cible ce qui engendre une erreur dans les traces récupérées, mais aussi la réapparition du masque. Dans le dernier cas, le participant doit, de nouveau, appuyer sur le masque pour pouvoir cliquer sur la bonne cible tandis que dans les deux premiers cas, il a juste à corriger son clic.

L'autre erreur possible est lorsque le participant ne clique pas sur la bonne cible en moins de dix secondes. Dans ce cas-là, la consigne change pour se positionner sur la cible suivante et par la même occasion réactive le masque si celui-ci était désactivé au changement de consigne.

L'expérimentation complète entraîne 576 acquisitions de cibles (12 sous tests * 48 cibles par sous test). Ce chiffre est à multiplier par deux si on tient compte des clics sur le masque.

La durée de l'expérimentation en comprenant la manipulation, les explications et les questionnaires varie entre 25 et 40 minutes pour les jeunes adultes et entre 40 et 70 minutes pour les personnes âgées. Avec un temps de manipulation entre 15 et 38 minutes pour les jeunes adultes et entre 32 et 50 minutes pour les personnes âgées.

Pour commencer chaque sous test, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « START ».

3) Résultats

a) Résultats qualitatifs

L'analyse du pourcentage de réponses correctes sur les couleurs présentes et leur ordre d'apparition juste après chaque série de quatre tests avec le même nombre de cibles révèle que les personnes âgées ont légèrement plus de difficultés que les jeunes adultes. Ceci est visible pour la série à six cibles et pour l'ordre d'apparition à huit cibles (Cf. Figure 87). Cependant, aucune différence significative entre les populations n'est présente. Une très légère tendance est à relever pour l'ordre d'apparition à huit cibles.

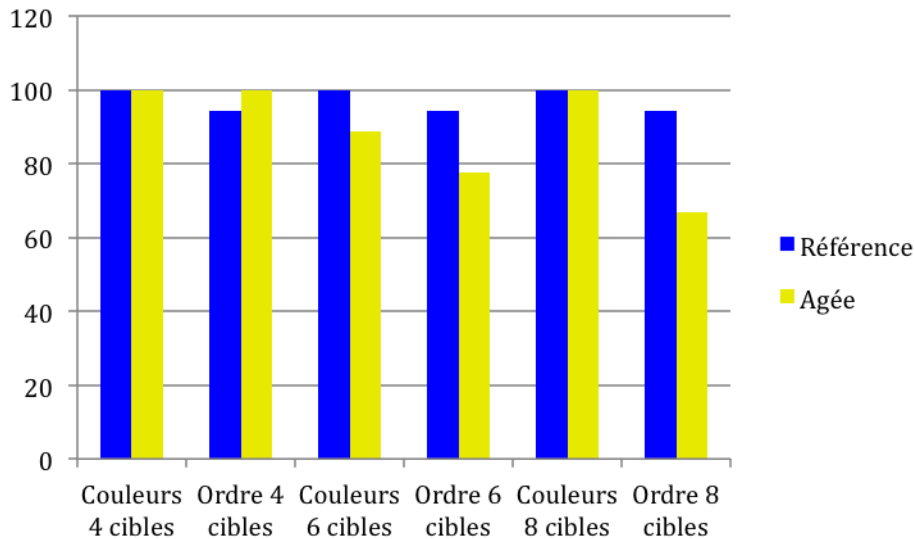


Figure 87 - Pourcentage de réponses correctes pour le nommage des couleurs présentes ainsi que pour leur ordre d'apparition en fonction de la population

L'étude de l'ordre de passage des séries de tests pour la population jeune montre que pour la dernière série de tests effectués les couleurs ainsi que leur ordre d'apparition sont bien mémorisés (Cf. Figure 88). Pour la première série de tests, les couleurs sont généralement mémorisées pour les tests à quatre et huit cibles. Ceci est explicable par le fait que pour le test à huit cibles toutes les couleurs nommées ont été utilisées et que pour le test à quatre cibles seulement les couleurs les plus connues ont été utilisées. L'ordre d'apparition a contrario n'est pas bien mémorisé. Pour la deuxième série, les couleurs n'ont pas été mémorisées pour l'ordre de passage 4>6>8. L'explication est que la série finale à huit couleurs ne permet pas de se rappeler des six couleurs de la deuxième série. Pour l'ordre d'apparition des cibles, la mémorisation n'est pas efficace hormis pour les ordres de passage se terminant par la série à quatre cibles.

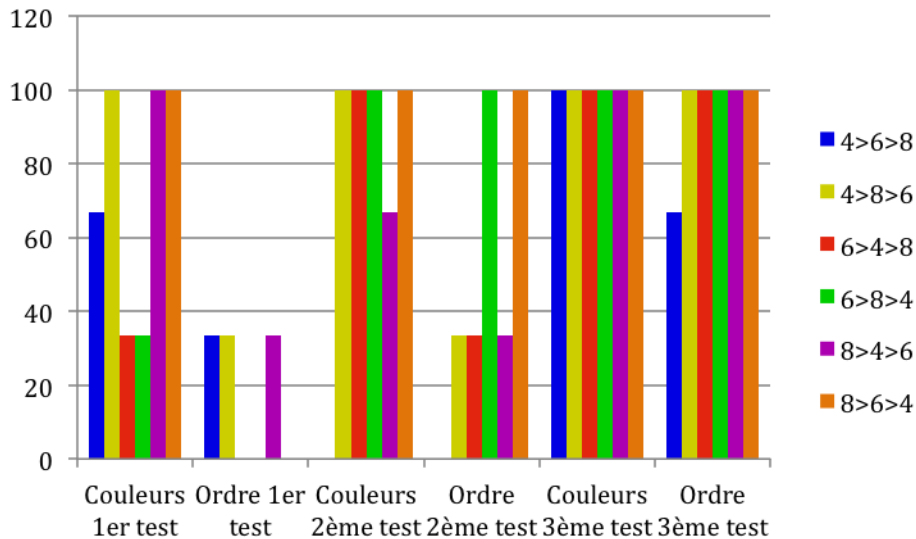


Figure 88 - Pourcentage de réponses correctes pour la population jeune pour le nommage et l'ordre d'apparition des couleurs en fonction de l'ordre de passage des séries après complétion de l'expérimentation

Pour comparer l'apprentissage entre la population jeune et celle des personnes âgées, la population jeune a été réduite à l'ordre de passage commun avec les personnes âgées : l'ordre 4>6>8. En regardant les résultats (Cf. Figure 89), nous observons que les deux populations ont des résultats très proches.

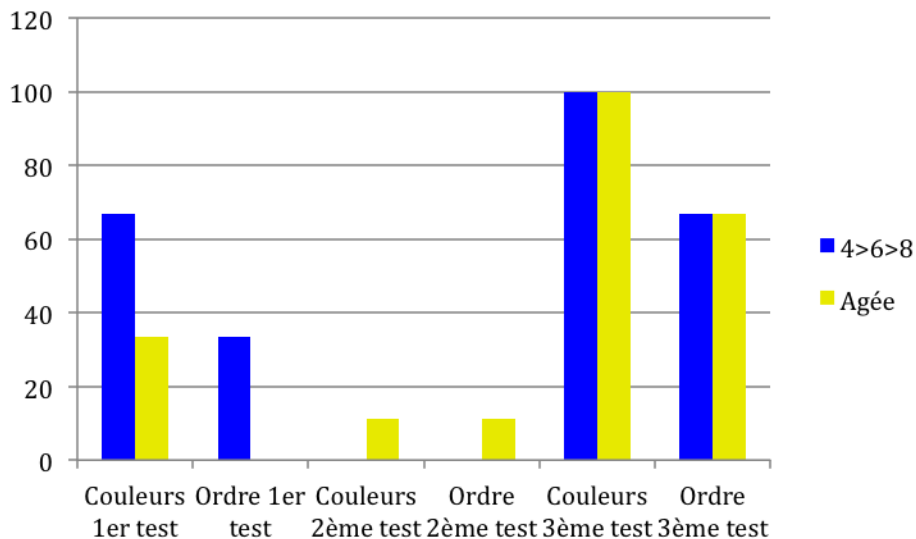


Figure 89 - Pourcentage de réponses correctes pour le nommage et l'ordre d'apparition des couleurs en fonction de la population après complétion de l'expérimentation

Au niveau de la préférence des utilisateurs entre le masque transparent et le masque opaque, nous observons (Cf. Figure 90) que quelques personnes ont préféré le masque opaque, car ils ont considéré le test comme un jeu. Ces personnes ont gardé ce choix de préférence quel que soit le nombre de cibles. Nous observons aussi que le nombre de personnes n'ayant pas de

préférence pour le test à quatre cibles est plus important que pour les tests à six et huit cibles. Ceci s'explique par le fait que le test à quatre cibles requiert moins de charges cognitives pour la mémorisation du test et que la mémorisation est quasi instantanée.

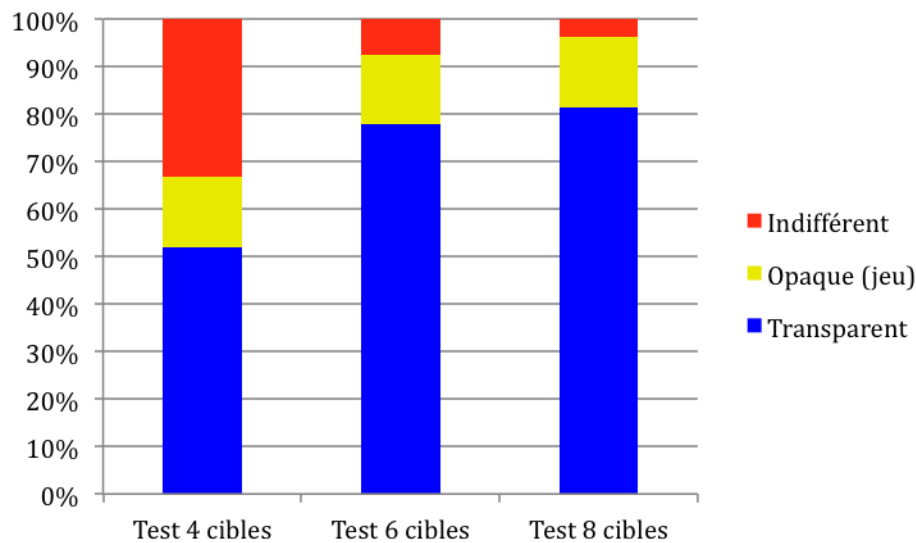


Figure 90 - Évolution de la préférence du type de masque suivant le nombre de cibles

Lorsque nous analysons le comportement en fonction du type de population (Cf. Figure 91 et Figure 92), nous observons une différence entre les préférences de ces deux populations au niveau du nombre de personnes ayant une indifférence sur le masque préféré. Nous pouvons postuler que les personnes âgées ont plus de mal à retenir les cibles que les jeunes adultes. L'observation du nombre de personnes préférant le masque opaque montre que le pourcentage de personnes est relativement proche entre les deux populations.

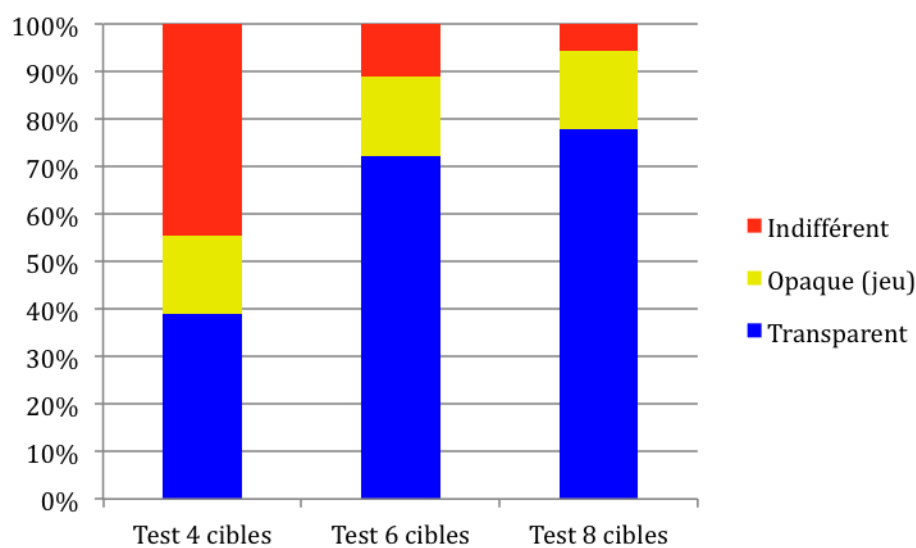


Figure 91 - Évolution des préférences pour les jeunes adultes suivant le nombre de cibles

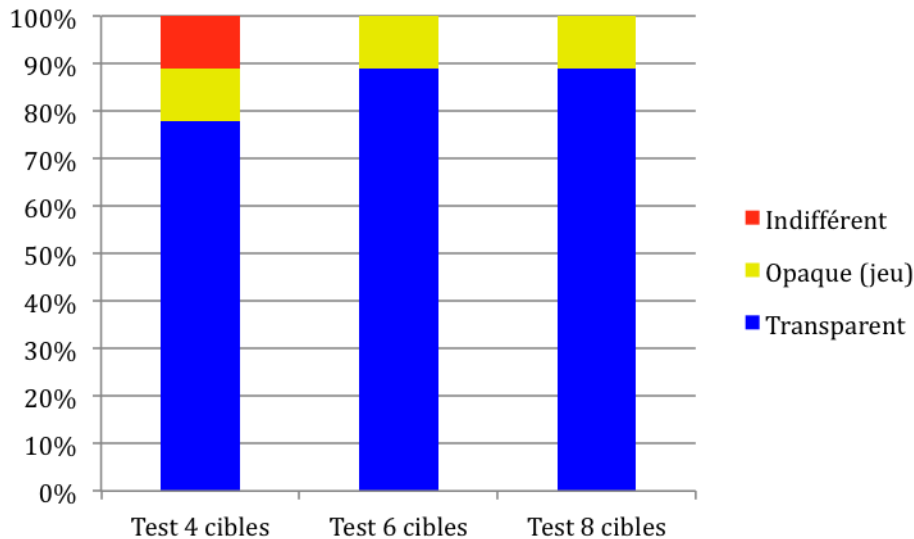


Figure 92 - Évolution des préférences pour les personnes âgées suivant le nombre de cibles

Au niveau de la fatigue visuelle, nous pouvons remarquer que les personnes âgées se fatiguent proportionnellement en plus grand nombre que les jeunes adultes (Cf. Figure 93). Le taux de fatigue visuelle pour le deuxième test pour les personnes âgées est équivalent au troisième test pour les jeunes adultes. Les types de fatigue visuelle évoqués sont des picotements des yeux (deux personnes à partir du deuxième test), de la persistance rétinienne (une personne pour le troisième test) et un effort plus important de visualisation (une personne pour le troisième test).

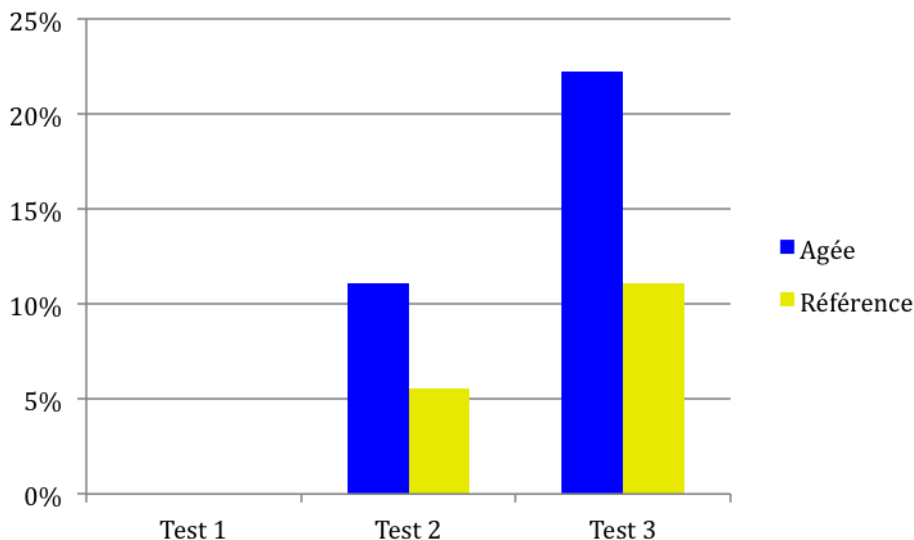


Figure 93 - Évolution de la fatigue visuelle pour les deux populations suivant le numéro du test

Au niveau de la fatigue motrice, nous pouvons remarquer que les personnes âgées n'en ont pas ressenti a contrario des jeunes adultes (Cf. Figure 94). La fatigue motrice pour les jeunes adultes est quasi constante, elle se situe principalement au niveau du poignet (sept personnes)

et un peu au niveau du bras (une personne). Cette différence entre les deux populations peut s'expliquer par le fait que les personnes âgées s'économisent plus au niveau des mouvements et prennent plus leur temps pour réaliser les actions tandis qu'une partie des jeunes adultes garde le bras en l'air pour optimiser la réactivité.

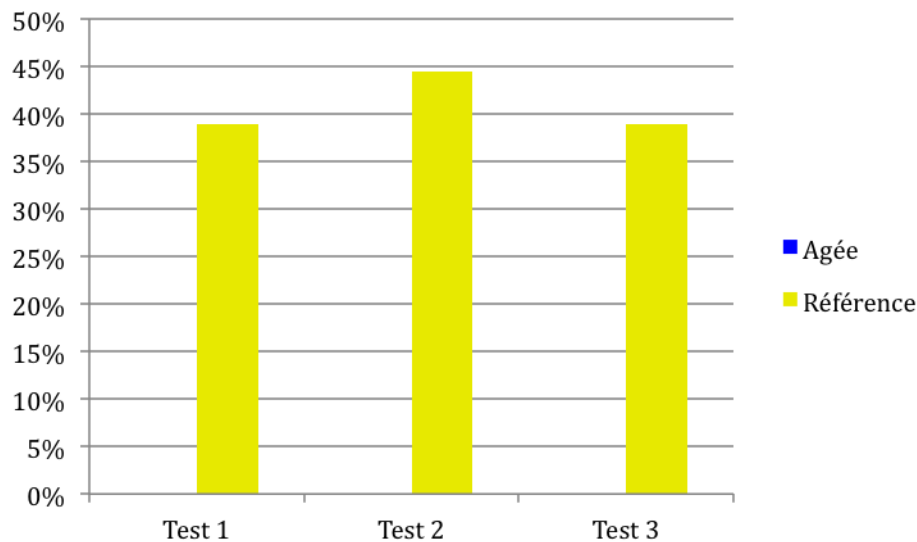


Figure 94 - Évolution de la fatigue motrice pour les deux populations suivant le numéro du test

Nous avons demandé pour une partie des jeunes utilisateurs et pour la population âgée comment ils pensaient avoir mémorisé les cibles. Avec les réponses (Cf. Figure 95 et Figure 96), nous pouvons distinguer trois grandes catégories de mémorisation : de gauche à droite, des extrêmes (cibles situées aux bords de l'écran) au reste des cibles et d'autres stratégies de mémorisation. La dernière catégorie est la catégorie sans réponse de la part de l'utilisateur. Nous pouvons remarquer que la stratégie de mémorisation de gauche à droite est progressivement remplacée par la stratégie de mémorisation par les extrêmes. Cette observation est d'autant plus valable chez les personnes âgées qui, dès le test à six cibles, commencent à utiliser majoritairement cette stratégie.

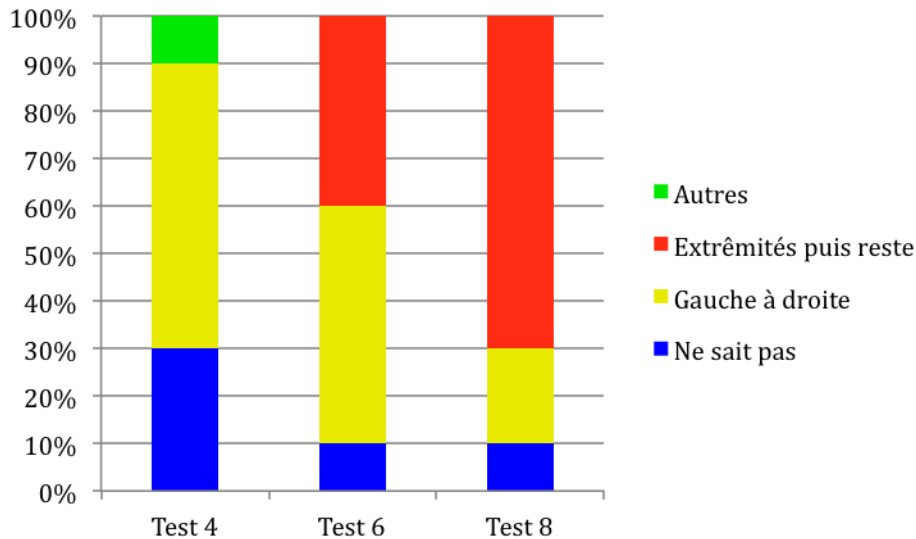


Figure 95 - Évolution de la stratégie de mémorisation des cibles pour les jeunes adultes

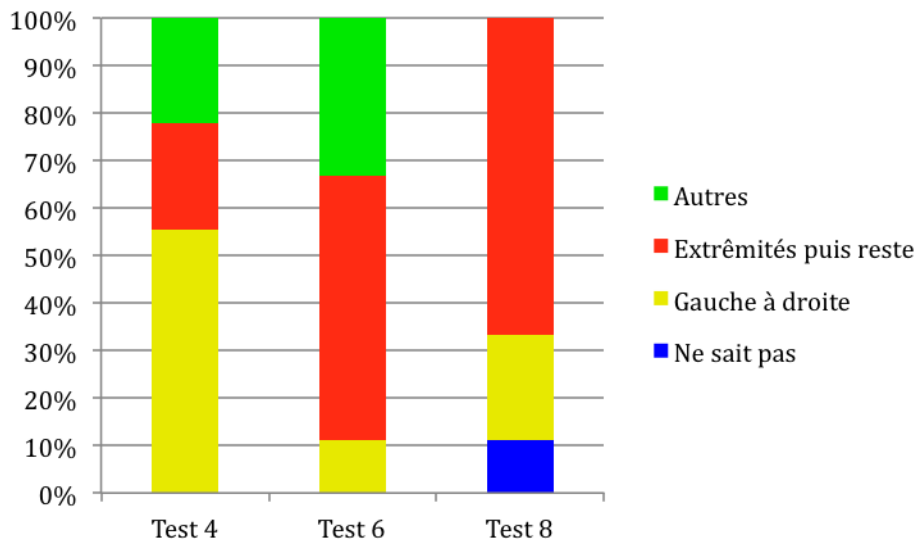


Figure 96 - Évolution de la stratégie de mémorisation des cibles pour les personnes âgées

b) Résultats quantitatifs

Pour chaque variable analysée, un test Shapiro et un test de Bartlett ont été réalisés. Si la condition d'homoscédasticité est respectée, une ANOVA a été réalisée, suivie d'un test de TukeyHSD pour comparer les moyennes. Si la condition n'a pas été respectée, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé, suivi d'un test de Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn pour comparer les moyennes.

Pour comparer les jeunes adultes et les personnes âgées, il faut vérifier qu'il n'existe pas d'interactions entre le numéro du groupe et le nombre de cibles. Quelle que soit la variable

dépendante analysée, aucune différence significative n'est présente, ce qui permet de comparer les deux populations.

Le Temps de Complétion du Test

L'analyse de l'ANOVA à trois facteurs (nombre de cibles, étape d'apprentissage et type de population) du TCT montre des différences significatives sur chaque facteur :

- pour le nombre de cibles : $F(2,300)=44,18$ et $p<2,2^e-16$;
- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,300)=17,11$ et $p=2,79^e-10$;
- pour le type de population : $F(1,300)=607,26$ et $p<2,2^e-16$.

Une interaction existe entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,300)=3,65$ et $p=1,3^e-02$).

Ce que nous pouvons conclure de ces statistiques, c'est que tous les facteurs influent fortement sur le TCT. L'augmentation du nombre de cibles fait augmenter le TCT (Cf. Figure 97) et les personnes âgées ont un TCT plus élevé que les jeunes adultes. De plus, les personnes âgées n'ont pas le même comportement d'apprentissage par rapport aux jeunes adultes. Nous pouvons remarquer (Cf. Figure 98) que la seule phase d'apprentissage T avec le masque transparent n'est pas suffisante pour les personnes âgées : celles-ci ont besoin d'une phase supplémentaire avec le masque opaque pour se stabiliser au niveau des performances contrairement aux jeunes adultes qui se stabilisent dès la première étape avec le masque opaque.

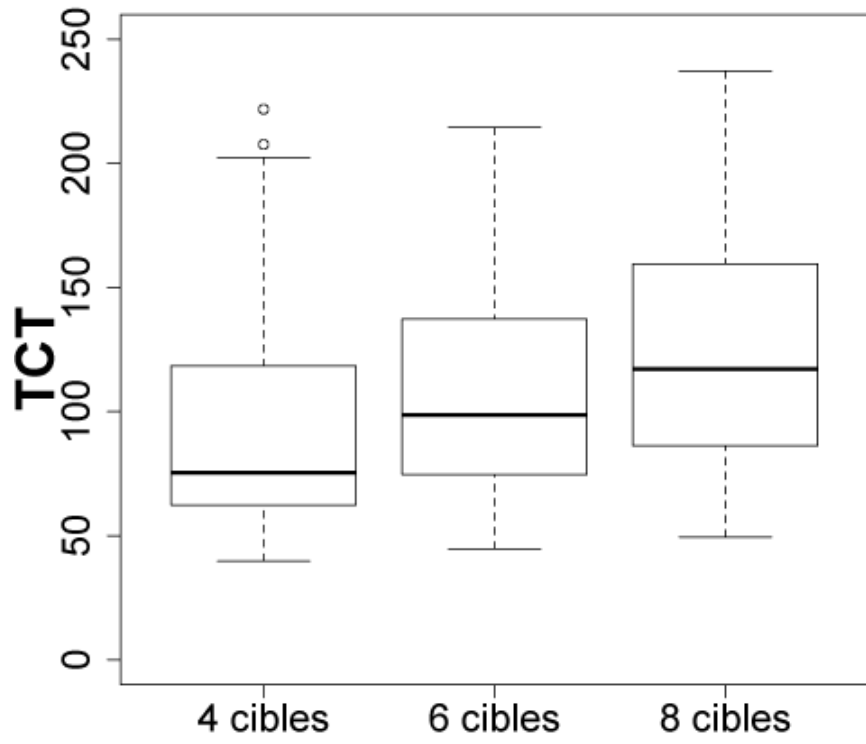


Figure 97 - TCT en secondes en fonction du nombre de cibles

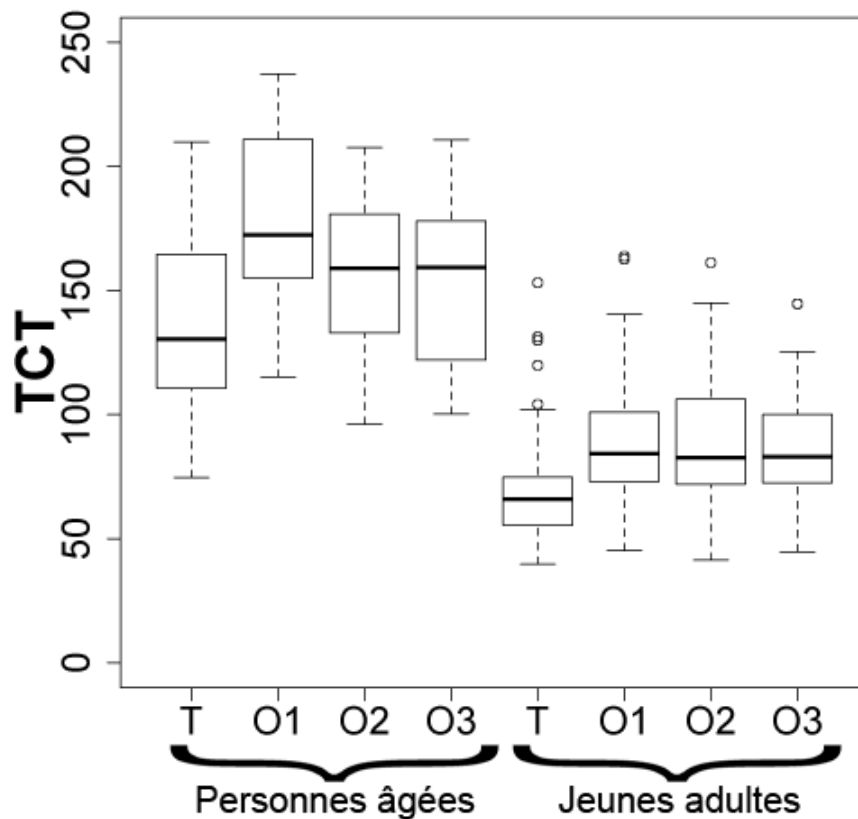


Figure 98 - TCT en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population

Le Taux d'Erreur

L'analyse de l'ANOVA à trois facteurs du taux d'erreur montre des différences significatives pour les étapes d'apprentissage ($F(3,300)=10,1$ et $p=2,33^e-6$) et pour le type de population ($F(1,300)=16,04$ et $p=7,84^e-5$). Une tendance existe pour le nombre de cibles ($F(2,300)=2,53$ et $p=8,14^e-2$).

Une interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population existe et montre des différences significatives ($F(3,300)=2,83$ et $p=3,86^e-2$). Le comportement au niveau des erreurs est identique entre les personnes âgées et les jeunes adultes au niveau des étapes (Cf. Figure 99) : l'étape T avec le masque transparent comporte moins d'erreurs que les étapes avec le masque opaque puisque le participant voit où se situe la bonne cible. Par contre, nous pouvons observer que les personnes âgées réalisent plus d'erreurs que les jeunes adultes même pour l'étape avec le masque transparent. Ceci est dû à un nombre de clics sur de mauvaises couleurs plus important pour les personnes âgées et une imprécision plus importante du clic (plus de clic sur le bord des cibles). La dernière différence entre les deux populations réside dans le nombre d'erreurs pour cause de temps de réflexion trop important.

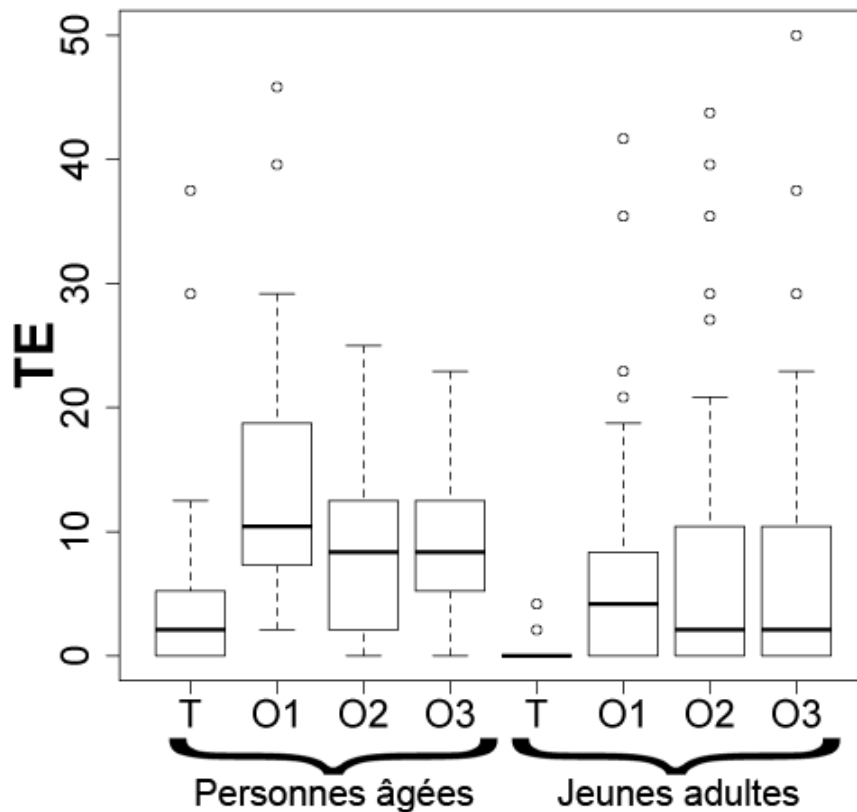


Figure 99 - TE en pourcentage en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population

La Précision de Localisation de la Cible

La précision de localisation de la cible ne peut s'analyser que pour une configuration de positionnement donné vu que l'arrangement des couleurs est fonction du nombre de cibles. Par conséquent, chaque configuration doit être analysée séparément.

Configuration avec quatre cibles

L'analyse ANOVA à trois facteurs du couple couleur/position, de l'étape d'apprentissage et du type de population montre des différences significatives pour les trois facteurs :

- pour le couple couleur/position : $F(3,400)=6,33$ et $p=3,32^e-4$;
- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,400)=29,93$ et $p<2,2^e-16$;
- pour le type de population : $F(1,400)=193,21$ et $p<2,2^e-16$.

Il existe deux interactions entre les facteurs. Une interaction entre le couple couleur/position et le type de population ($F(3,400)=7,12$ et $p=1,14^e-4$) et une interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,400)=5,81$ et $p=6,79^e-4$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 100) montre que :

- d'une part, les personnes âgées sont moins précises que les jeunes adultes : la cible ayant la meilleure précision pour les personnes âgées (jaune/0) s'approche de celle ayant la plus mauvaise pour les jeunes adultes (rouge/2) ;
- d'autre part, le couple jaune/0 chez les personnes âgées se différencie des couples vert/1 et rouge/2, contrairement aux jeunes adultes chez qui aucun couple ne se démarque des autres.

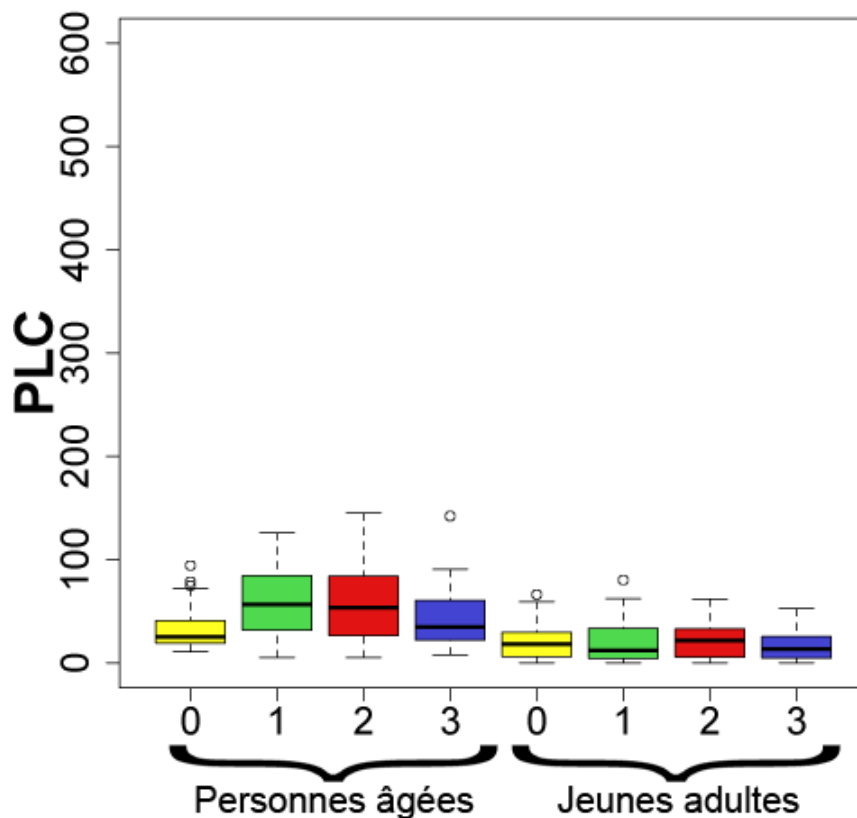


Figure 100 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 4 cibles

L'analyse de l'interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population (Cf. Figure 101) confirme que l'étape T avec le masque transparent a une meilleure précision et que les personnes âgées sont moins précises sur l'ensemble des étapes. Contrairement aux jeunes adultes qui ont une précision stable au niveau des étapes avec un masque opaque, les personnes âgées s'améliorent légèrement avec l'augmentation du nombre d'étapes.

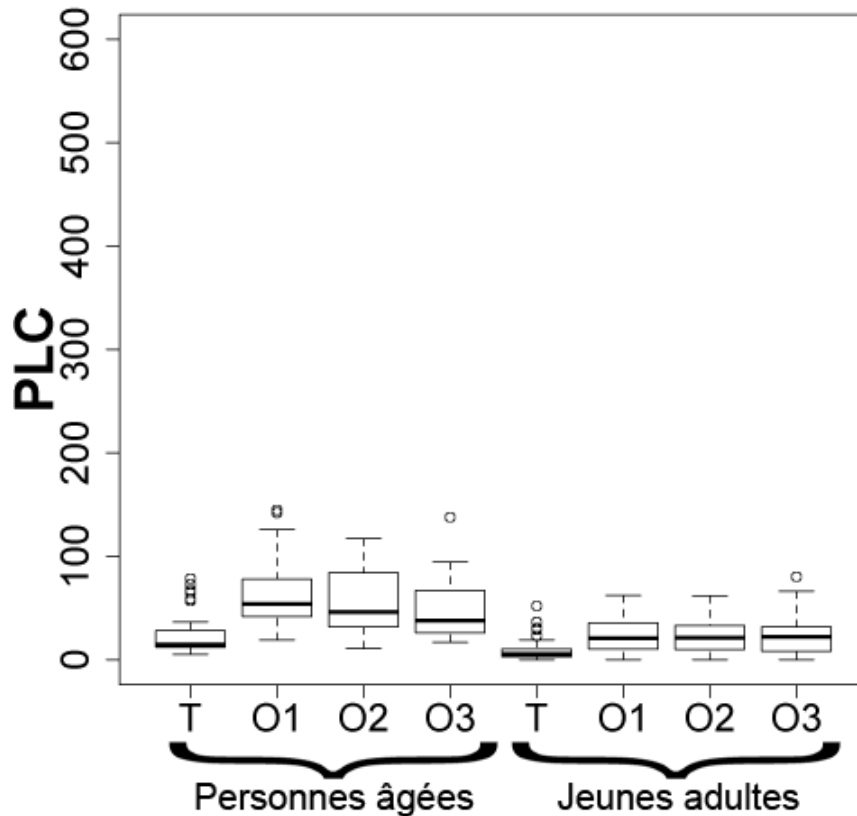


Figure 101 - PLC en pixels en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 4 cibles

Configuration avec 6 cibles

L'analyse ANOVA à trois facteurs du couple couleur/position, de l'étape d'apprentissage et du type de population montre des différences significatives pour deux facteurs :

- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,600)=24,33$ et $p=7,19^e-15$;
- pour le type de population : $F(1,600)=34,2$ et $p=8,18^e-9$.

Il existe deux interactions entre les facteurs. Une interaction entre le couple couleur/position et le type de population ($F(5,600)=2,25$ et $p=4,78^e-2$) et une interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,600)=3,09$ et $p=2,66^e-2$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 102) montre une précision entre les personnes âgées et les jeunes adultes assez proche même si les personnes âgées le sont un peu moins. Cette différence par rapport au test avec quatre cibles peut s'expliquer par la disposition des cibles : dans la configuration avec six cibles, la distance entre chaque cible est égale à la largeur d'une cible, contrairement à la configuration avec quatre cibles qui a une distance plus élevée entre chaque cible.

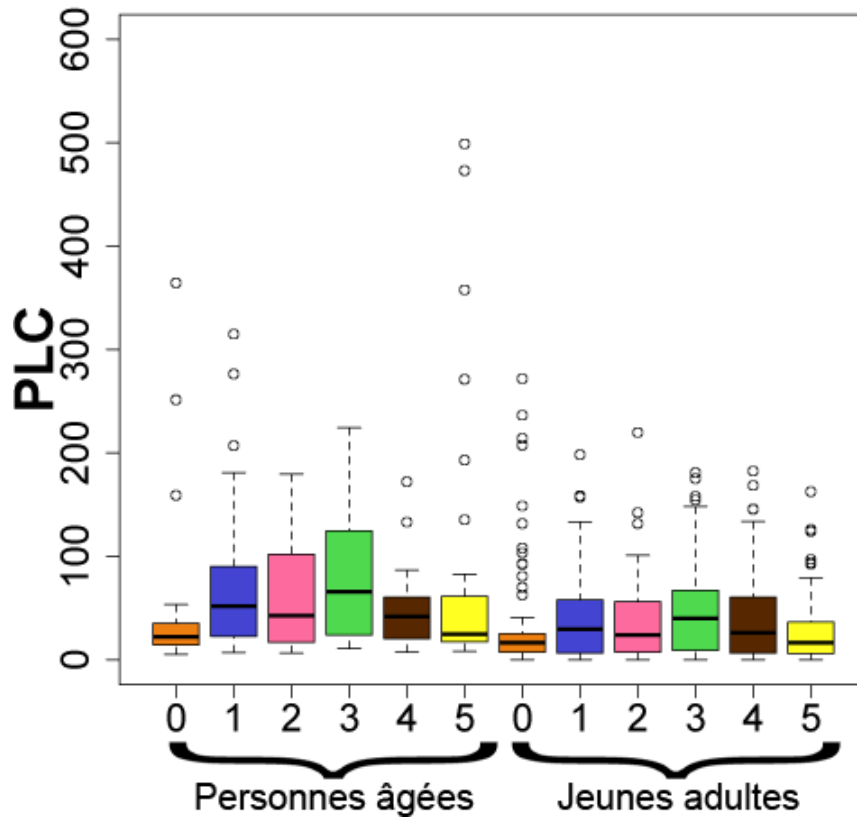


Figure 102 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 6 cibles

L'analyse de l'interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population (Cf. Figure 103) indique que la précision des personnes âgées devient équivalente à celle des jeunes adultes à une étape près avec le masque opaque. L'étape O2 chez les personnes âgées est équivalente en précision à l'étape O1 chez les jeunes adultes, de même l'étape O3 est équivalente à l'étape O2.

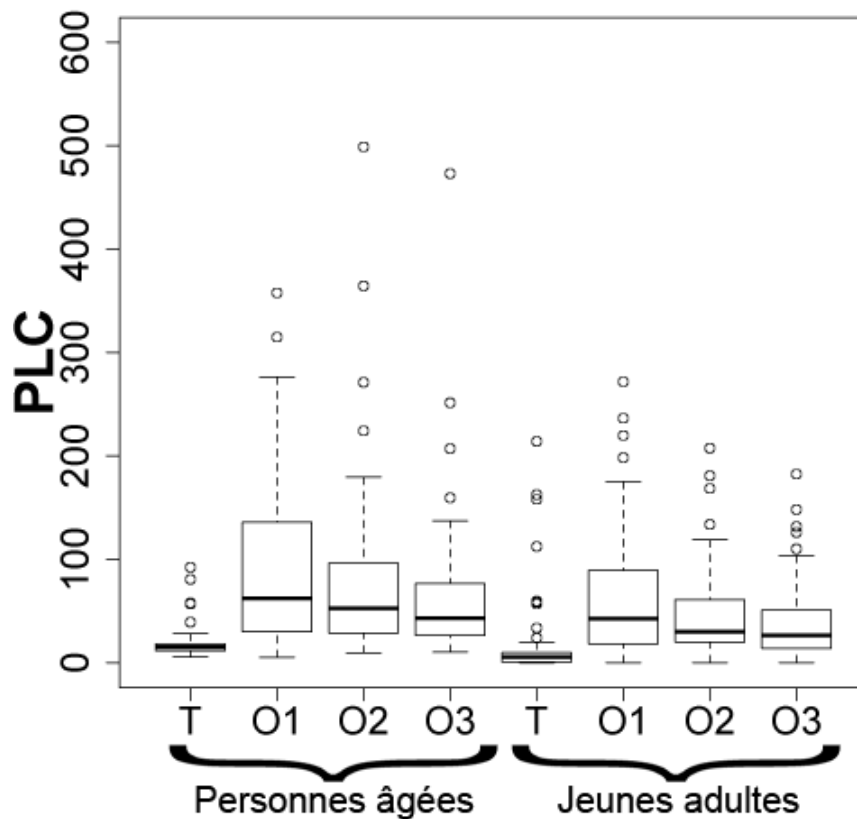


Figure 103 - PLC en pixels en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 6 cibles

Configuration avec 8 cibles

L'analyse ANOVA à trois facteurs du couple couleur/position, de l'étape d'apprentissage et du type de population montre des différences significatives pour les trois facteurs :

- pour le couple couleur/position : $F(7,800)=10,09$ et $p=3,89^e-12$;
- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,800)=41,71$ et $p<2,2^e-16$;
- pour le type de population : $F(1,800)=100,78$ et $p<2,2^e-16$.

Il existe deux interactions entre les facteurs. Une interaction entre le couple couleur/position et le type de population ($F(7,800)=5,28$ et $p=6,43^e-6$) et une interaction entre l'étape d'apprentissage et le couple couleur/position ($F(21,800)=1,62$ et $p=3,77^e-2$). Une tendance existe aussi entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,800)=2,31$ et $p=7,49^e-2$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 104) montre des comportements assez similaires entre les personnes âgées et les jeunes adultes. Cependant certains couples couleur/position sont plus faciles au niveau de la précision que d'autres. Nous pouvons remarquer que les couples jaune/2 et orange/5 posent

des problèmes de localisation. Cependant ces problèmes sont beaucoup plus accrus pour les personnes âgées et nous avons une grande variabilité. Nous pouvons discerner une cassure nette au niveau de la localisation : les cibles à gauche aux extrémités sont plus faciles à situer, ceci est aussi valable pour les cibles situées au centre. Nous supposons que c'est principalement dû au fait que ces positions permettent une meilleure localisation spatiale : bords de l'écran pour les extrémités, milieu de l'écran pour les cibles du milieu.

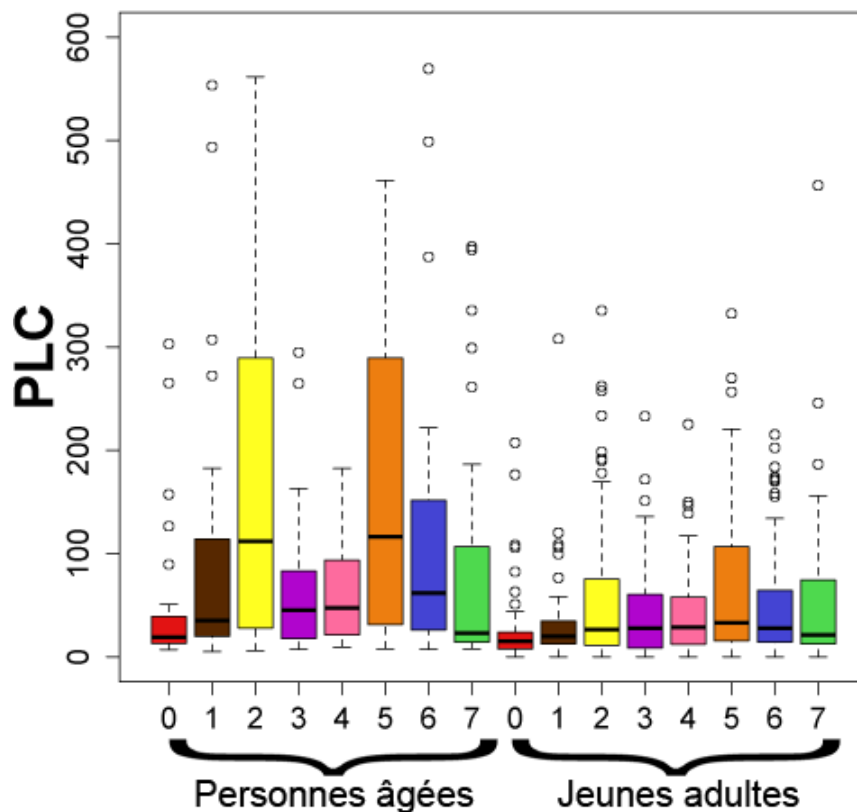


Figure 104 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 8 cibles

L'analyse de l'interaction entre l'étape d'apprentissage et le couple couleur/position (Cf. Figure 105) montre que la difficulté de localisation détectée au niveau des couples couleur/position est d'autant plus valable que l'étape d'apprentissage avec le masque opaque est basse : la localisation du couple rouge/0 ne s'améliore que très peu lors des différentes étapes avec le masque opaque tandis que celle des couples jaune/2 et orange/5 s'améliore fortement. Nous pouvons noter aussi que l'amélioration de localisation est aussi importante pour les couples situés à l'extrémité droite de l'écran. Nous pouvons en déduire que le sens de lecture influence probablement le processus de mémorisation.

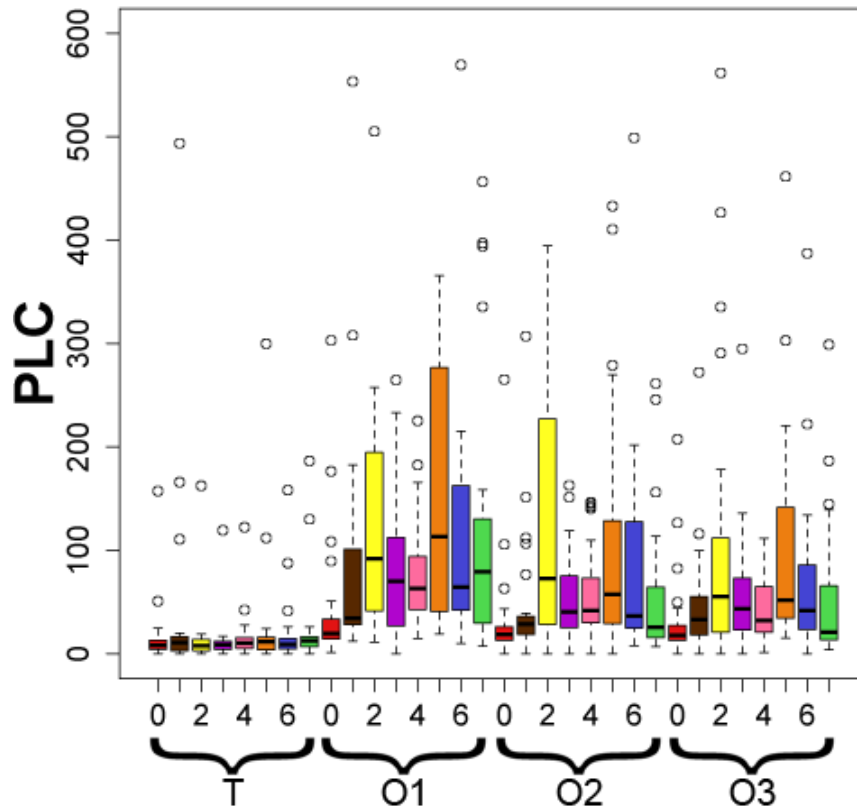


Figure 105 - PLC en pixels en fonction du couple couleur/position et de l'étape d'apprentissage pour la configuration à 8 cibles

L'analyse de la tendance entre l'étape d'apprentissage et le type de population montre que la précision se stabilise à partir de l'étape O2 pour les jeunes adultes. Quant aux personnes âgées, elles arrivent à un niveau de localisation équivalent à l'étape O1 pour les jeunes adultes seulement qu'à partir de l'étape O3.

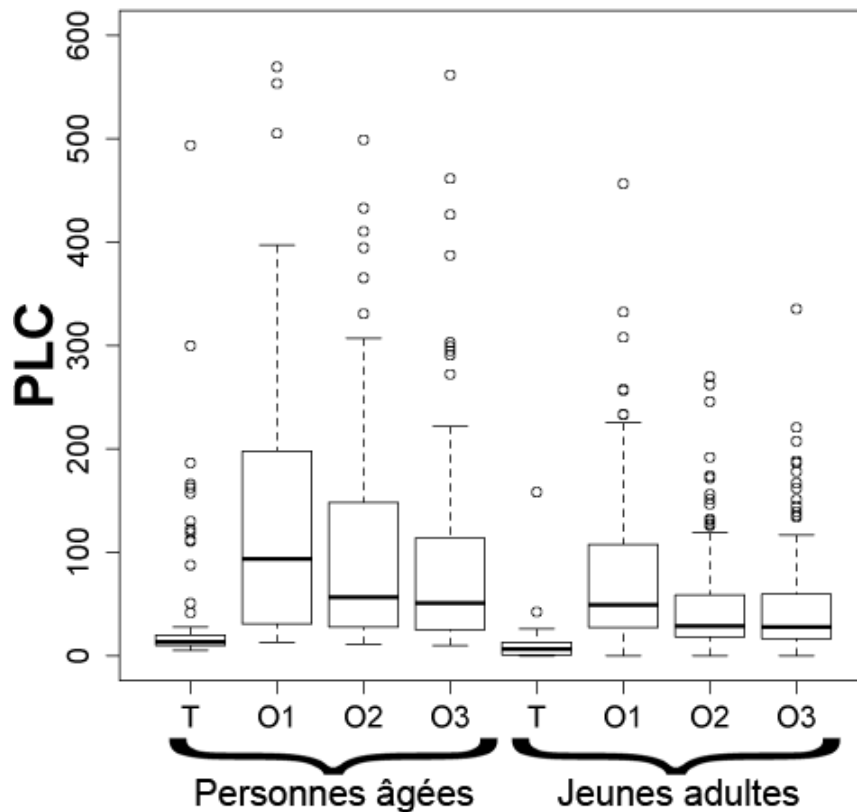


Figure 106 - PLC en pixels en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 8 cibles

Pour conclure au niveau de la précision de localisation de la cible, nous avons remarqué que les cibles situées sur les bords, et essentiellement à gauche, apportent une meilleure précision de la part de l'utilisateur, principalement pour les personnes âgées. C'est aussi le cas pour la configuration à huit cibles où les cibles situées au centre ont de bons résultats. Il est aussi intéressant de noter que les personnes âgées atteignent un niveau de précision égal à celui des jeunes adultes avec une étape d'apprentissage supplémentaire avec un masque opaque pour la configuration à six cibles et deux étapes pour la configuration à huit cibles.

Le Temps de Localisation de la Cible

Comme pour la précision de localisation de la cible, le temps de localisation de la cible ne peut s'analyser que pour une configuration de positionnement fixe vu que de nouvelles cibles et l'arrangement des couleurs apparaissent avec l'accroissement du nombre de cibles. Pour cela, chaque configuration doit être analysée séparément.

Configuration avec quatre cibles

L'analyse ANOVA à trois facteurs du couple couleur/position, de l'étape d'apprentissage et du type de population montre des différences significatives pour les trois facteurs :

- pour le couple couleur/position : $F(3,400)=2,63$ et $p=4,96^e-2$;
- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,400)=3,28$ et $p=2,09^e-2$;
- pour le type de population : $F(1,400)=559,11$ et $p<2,2^e-16$.

Il existe deux interactions entre les facteurs. Une interaction entre le couple couleur/position et le type de population ($F(3,400)=4,7$ et $p=3,07^e-3$) et une interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,400)=6,07$ et $p=4,79^e-4$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 107) montre que les personnes âgées mettent plus de temps pour localiser la cible. Mentionnons qu'elles localisent plus rapidement le couple jaune/0 que les autres couples. Ceci n'est pas vrai pour les jeunes adultes qui ont un temps de localisation équivalent quelque soit le couple couleur/position.

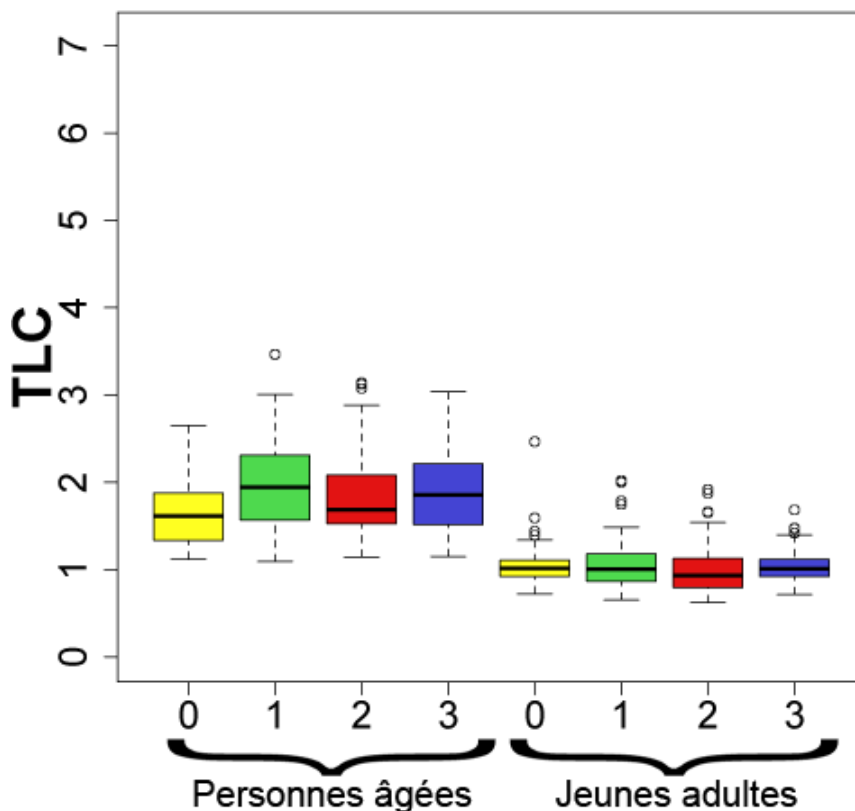


Figure 107 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 4 cibles

L'analyse de l'interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population (Cf. Figure 108) montre que les personnes âgées mettent plus de temps pour apprendre la localisation des cibles. Nous pouvons aussi observer qu'elles ont besoin d'une étape d'apprentissage sur le masque opaque pour obtenir des performances sur un masque opaque proches de celle de l'étape avec le masque transparent, tandis que les jeunes adultes sont dès la première étape avec un masque opaque aussi performant au niveau du temps de localisation.

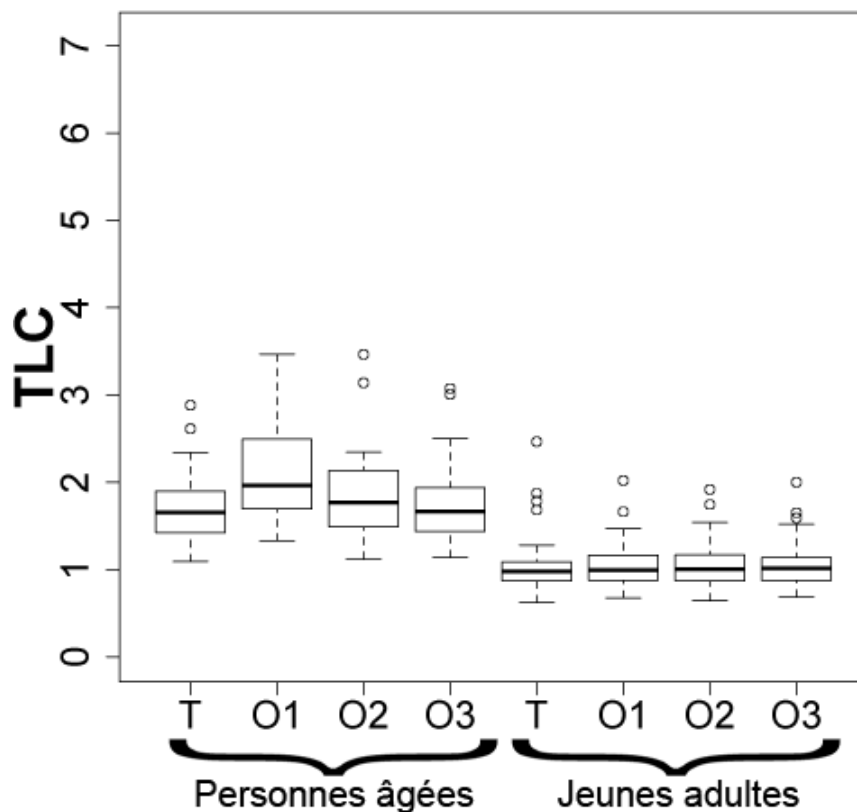


Figure 108 - TLC en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 4 cibles

Configuration avec six cibles

L'analyse ANOVA à trois facteurs du couple couleur/position, de l'étape d'apprentissage et du type de population montre des différences significatives pour les trois facteurs :

- pour le couple couleur/position : $F(5,600)=4,42$ et $p=5,84^e-4$;
- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,600)=20,51$ et $p=1,16^e-12$;
- pour le type de population : $F(1,600)=413,72$ et $p<2,2^e-16$.

Il existe trois interactions entre les facteurs. Une interaction entre le couple couleur/position et le type de population ($F(5,600)=2,27$ et $p=4,6^e-2$), une interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,600)=4,86$ et $p=2,4^e-3$) et une interaction entre le couple couleur/position et l'étape d'apprentissage ($F(15,600)=1,81$ et $p=3,05^e-2$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 109) montre que les personnes âgées sont plus lentes pour situer une cible. Notons que le couple marron/4 est plus facilement repéré que les autres couples pour elles. Cette observation peut s'expliquer par le fait que les personnes âgées ont des problèmes de perception au niveau des contrastes et qu'il vaut mieux favoriser un fort contraste. C'est le cas avec le marron (luminance faible) qui a un fort contraste avec les autres couleurs (luminance plus élevée).

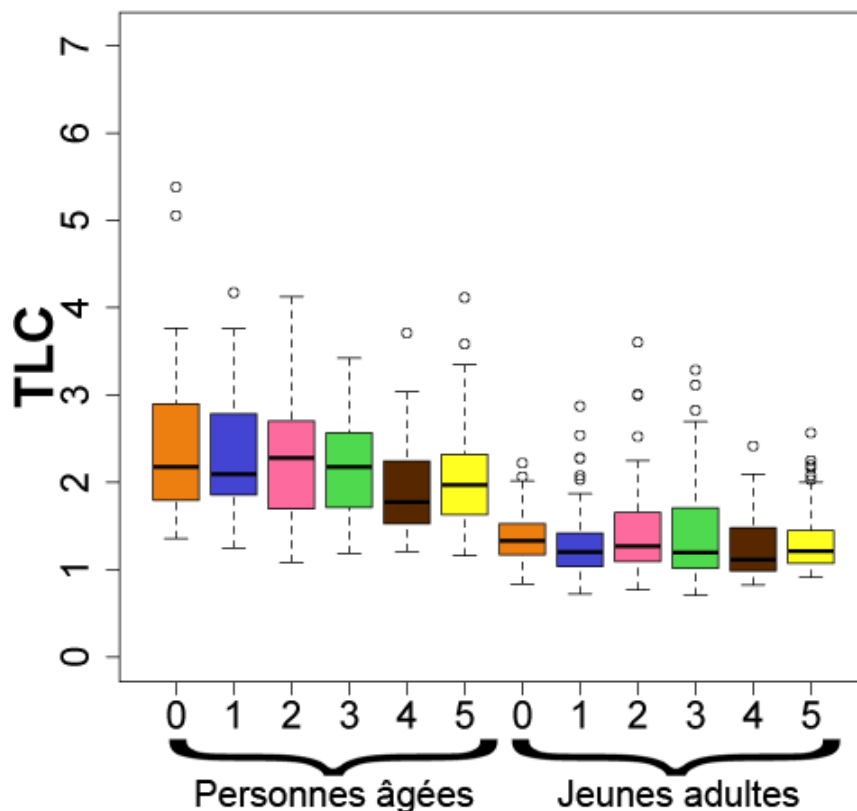


Figure 109 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 8 cibles

L'analyse de l'interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population (Cf. Figure 110) montre une différence sur l'évolution des performances à travers les phases d'apprentissage. Comme pour la configuration avec quatre cibles, les personnes âgées ont besoin d'une étape avec un masque opaque pour arriver à se stabiliser au niveau des

performances alors que les jeunes adultes se stabilisent dès la première étape avec le masque opaque.

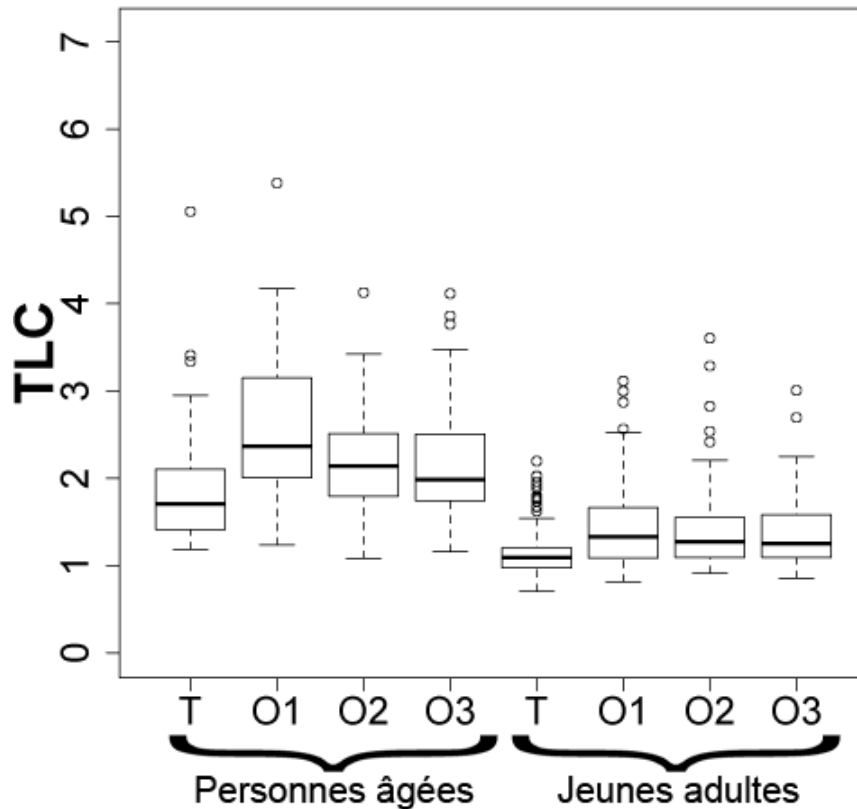


Figure 110 - TLC en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 6 cibles

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et l'étape d'apprentissage (Cf. Figure 111) montre que les couples qui sont faciles à localiser avec un masque opaque ne le sont pas forcément avec un masque transparent : le couple orange/0, le plus mauvais, sur le masque transparent devient un des meilleurs sur les masques opaques. Nous pouvons vérifier ce cas sur le couple couleur/position marron/4 qui, sur les étapes avec un masque opaque, a le meilleur temps de localisation alors que sur l'étape avec le masque transparent, il ne se démarque pas des autres.

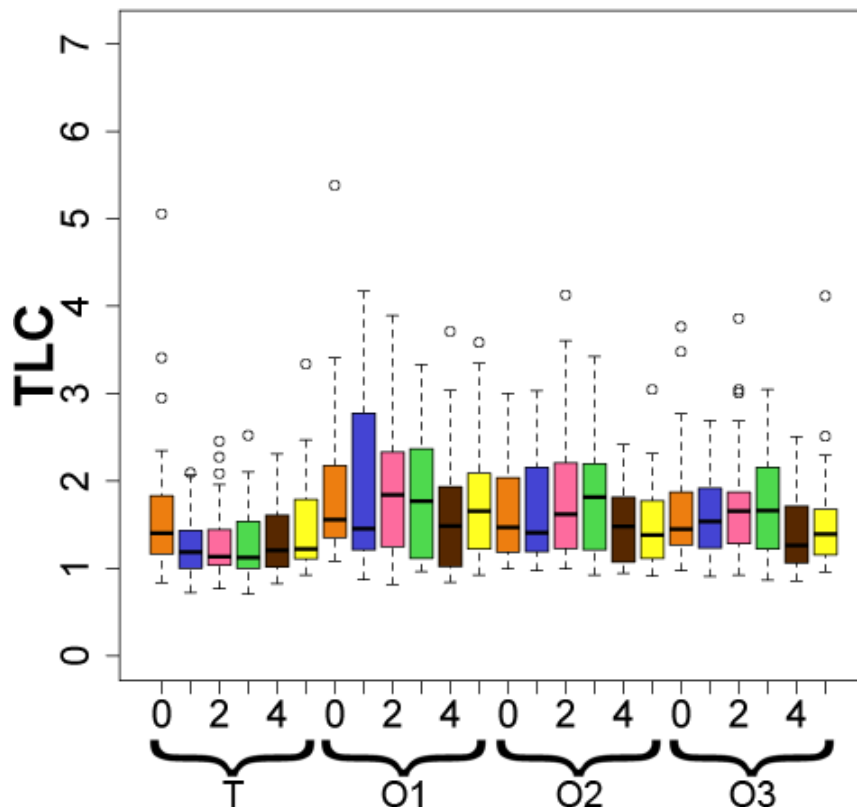


Figure 111 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et de l'étape d'apprentissage pour la configuration à 6 cibles

Configuration avec huit cibles

L'analyse ANOVA à trois facteurs du couple couleur/position, de l'étape d'apprentissage et du type de population montre des différences significatives pour les trois facteurs :

- pour le couple couleur/position : $F(7,800)=14,24$ et $p<2,2^e-16$;
- pour l'étape d'apprentissage : $F(3,800)=17,97$ et $p=2,71^e-11$;
- pour le type de population : $F(1,800)=496,18$ et $p<2,2^e-16$.

Il existe deux interactions entre les facteurs. Une interaction entre le couple couleur/position et le type de population ($F(7,800)=4,12$ et $p=1,86^e-4$) et une interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population ($F(3,800)=7,24$ et $p=8,56^e-5$).

L'analyse de l'interaction entre le couple couleur/position et le type de population (Cf. Figure 112) montre que le couple rouge/0 a le meilleur temps de localisation. Par contre, les couples jaune/2 et orange/5 auxquels s'ajoutent le couple rose/4 pour les personnes âgées ont de moins bons temps de localisation. Ceci peut s'expliquer :

- d'une part, par la mémorisation facilitée par le sens de lecture ;

- et d'autre part, comme pour les analyses sur la précision de localisation de la cible, par le fait que ces couples soient faciles (rouge/0) à positionner au niveau d'un repère soit plus difficiles (jaune/2 et orange/5).

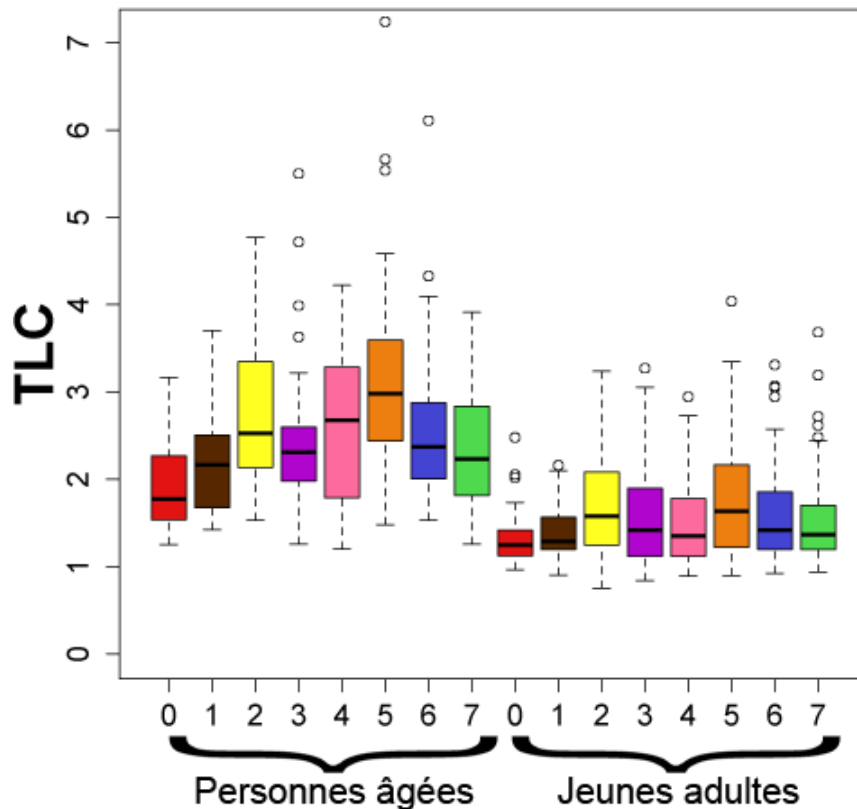


Figure 112 - TLC en secondes en fonction du couple couleur/position et du type de population pour la configuration à 8 cibles

L'analyse de l'interaction entre l'étape d'apprentissage et le type de population (Cf. Figure 113) montre que les personnes âgées ont besoin d'une étape avec le masque opaque pour stabiliser leur temps de localisation contrairement aux jeunes adultes qui se stabilisent dès la première étape avec le masque opaque. Nous pouvons aussi noter que les personnes âgées sont plus lentes pour localiser que les jeunes adultes.

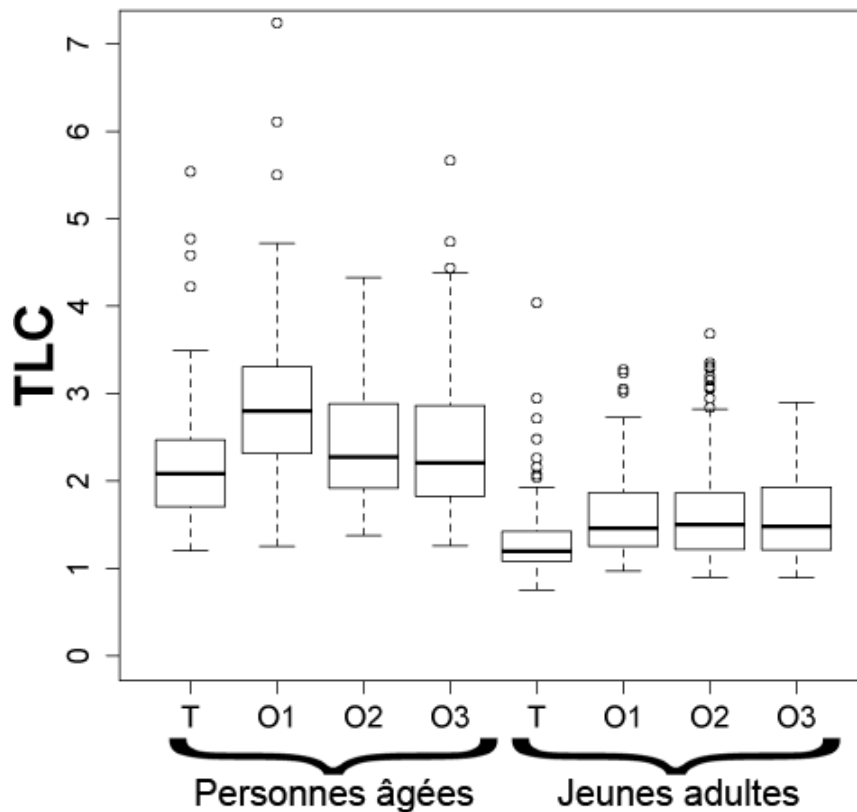


Figure 113 - TLC en secondes en fonction de l'étape d'apprentissage et du type de population pour la configuration à 8 cibles

Nous concluons que les personnes âgées ont besoin d'une étape supplémentaire avec le masque opaque pour arriver à stabiliser le temps de localisation tandis que les jeunes adultes se stabilisent dès la première étape. Quelle que soit la configuration, la cible se situant sur la gauche fait partie des localisations les plus rapides. Nous pouvons ajouter la cible de couleur marron qui favorise une bonne vitesse de localisation. Ce résultat peut s'expliquer par la différence de luminance avec les autres couleurs qui augmente l'effet d'attraction de cette cible par rapport aux autres. Nous pouvons aussi noter que sur la configuration à huit cibles, les cibles situées en position 2 et 5 ont un mauvais temps de localisation.

4) Discussions

De nombreux résultats intéressants émergent de cette expérimentation. Aussi bien pour les résultats quantitatifs que pour les résultats qualitatifs.

a) La fatigue

Tout d'abord, une chose étonnante, c'est que ce ne sont pas les personnes âgées qui se sentent fatiguer physiquement, mais les jeunes adultes. L'explication la plus plausible est que les personnes âgées prennent leur temps pour planifier et réaliser le geste pour réduire au maximum leur fatigue motrice. Nous avons remarqué qu'elles font plus attention à se reposer et évitent de ne pas rester avec le bras levé pour essayer d'aller le plus vite possible dans cette tâche de pointage.

Il est aussi intéressant de remarquer que les personnes âgées ne se sont pas senties plus vite fatiguées visuellement que les jeunes adultes. Par contre, comparativement aux jeunes adultes, un plus grand nombre de personnes âgées ressent une fatigue visuelle. Ceci peut s'expliquer par la perte de perception visuelle liée au vieillissement du système visuel. Ceci pourrait entraîner une demande plus importante de concentration visuelle entraînant une fatigue plus rapide des yeux.

b) La mémorisation

Au niveau de la mémorisation des positions des cibles les unes par rapport aux autres, les résultats sont proches entre les personnes âgées et les jeunes adultes. Quelques difficultés plus importantes de mémorisation existent au niveau de l'ordre avec l'augmentation du nombre de cibles pour les personnes âgées.

La stratégie de mémorisation change avec l'augmentation du nombre de cibles (Cf. Figure 95 et Figure 96). Pour la configuration avec quatre cibles, une majorité utilise une mémorisation de gauche à droite. Les résultats quantitatifs confirment en partie ce résultat qualitatif. Nous voyons, que cela soit sur le temps de localisation de la cible ou sur la précision de localisation de la cible, que la cible positionnée sur la gauche de l'écran favorise sa mémorisation par aux autres cibles. L'autre stratégie de mémorisation se base sur une mémorisation des cibles situées sur les côtés en premier puis le reste des cibles. Celle-ci est utilisée majoritairement dès la configuration avec six cibles pour les personnes âgées et avec la configuration avec huit cibles pour les jeunes adultes. Nous pouvons confirmer également l'utilisation de cette stratégie sur la configuration avec huit cibles. En effet, les cibles situées sur le côté gauche n'évoluent que peu au niveau de l'amélioration du temps et de la précision de localisation avec l'apprentissage, contrairement aux cibles situées à la position au centre qui prennent plus d'étapes pour se stabiliser.

Par contre au niveau des performances de l'utilisateur au niveau de la mémorisation, que cela soit pour le temps ou pour la précision de localisation, sur la configuration avec huit cibles,

nous pouvons observer que les repères visuels sont très importants : cibles situées à proximité d'un repère visuel comme le bord de l'écran ou la consigne, mais aussi une couleur plus contrastée par rapport aux autres (par exemple, le marron pour la configuration avec six cibles).

Nous pouvons aussi remarquer qu'au niveau de la mémorisation, les personnes âgées mettent une étape supplémentaire avec un masque opaque que les jeunes adultes pour se stabiliser au niveau des performances. Cette remarque est valable quel que soit le nombre de cibles.

Un autre point intéressant à observer est que contrairement au temps de localisation des cibles qui reste toujours supérieur pour les personnes âgées, la précision de localisation pour les personnes âgées s'améliore pour atteindre des niveaux de précision proche voir équivalent aux jeunes adultes. Plus le nombre de cibles est important, plus le nombre d'étapes d'apprentissage avec un masque opaque augmente. Nous pouvons déduire de ces résultats que les personnes âgées gardent une bonne précision malgré les déficits normaux moteurs, cognitifs et visuels liés à l'âge. En effet, il faut entendre par bonne précision, des résultats pour le PLC inférieur à 50 pixels ce qui correspond à un clic réussi sur la cible. Les seuls cas où la précision n'est pas assez bonne sont : pour la configuration à 4 cibles, les couples rouge/2 et vert/1 ; pour la configuration à 6 cibles le couple vert/3 ; et pour la configuration à 8 cibles avec les couples bleu/6, jaune/2 et orange/5.

c) Les préférences

Nous pouvons remarquer que les personnes âgées préfèrent le masque transparent dès le test à quatre cibles, tandis que les jeunes adultes préfèrent le masque transparent à partir du test à six cibles. Il est intéressant de voir qu'une partie des utilisateurs considèrent le masque opaque comme plus intéressant, car ça leur fait penser à un jeu et ce résultat est constant quel que soit le nombre de cibles et est valable pour les deux populations. Nous pouvons en déduire que faire découvrir une interaction sous la forme d'un jeu pourrait faciliter l'adoption d'interactions plus compliquées d'utilisation.

d) Les erreurs

Pour ce qui est des erreurs commises lors de la réalisation de l'expérimentation, nous remarquons une augmentation des erreurs plus importante sur certains types d'erreurs : les erreurs de clic sur les bords, les erreurs de clic sur une mauvaise couleur et enfin les erreurs de réflexion trop longue. Ces trois types d'erreurs peuvent toutes être associées à l'avancement de l'âge. Les erreurs de clic sur les bords proviennent probablement d'une

compréhension moins maîtrisée de la technologie tactile : les personnes âgées appuient beaucoup plus fort sur l'écran pensant que plus elles appuient fort, mieux l'écran captera et par conséquent bougent plus le doigt entre l'appui et le relâchement entraînant un décalage entre l'appui et le relâchement. Celui-ci lui se situant plus au niveau du bord de la cible provoque ainsi une erreur supplémentaire. Les erreurs de clic sur une mauvaise couleur s'expliquent par la perte de contraste des couleurs ce qui diminue le nombre de couleurs perçues et en même temps les rapproche les unes les autres. Les erreurs de réflexion longues s'expliquent par le fait que les personnes âgées prennent plus leur temps pour planifier et réaliser les actions. Elles semblent préférer éviter les erreurs qui sont plus pénalisantes pour eux. Ce comportement est identique à celui qu'ont les personnes atteintes d'un handicap moteur, qui pour éviter des déplacements inutiles dus à une erreur, font plus attention à ne pas faire d'erreurs.

Toutes ces discussions nous permettent de définir des recommandations de conception qu'il faudra valider par des expérimentations plus complètes et plus précises sur chacune de ces recommandations, mais qui permettent déjà d'avoir une idée sur ce qu'il faut ou ne pas faire pour concevoir des interfaces à base d'interaction tactile pour des personnes âgées.

5) Conclusions

Cette expérimentation nous a permis de détecter de nombreux points intéressants quant à l'amélioration des interactions pour les personnes âgées. À partir des discussions, nous proposons les recommandations suivantes portant sur différents points :

- l'apprentissage de l'interaction est tout aussi important qu'une interface facile d'accès : il est par conséquent fortement conseillé de faire un rapide apprentissage de l'interaction si c'est nécessaire et surtout qu'il soit progressif ;
- le choix des couleurs est d'autant plus efficace chez les personnes âgées que le contraste entre celles-ci est augmenté ;
- les éléments de l'interface doivent être situés près d'un repère visuel fort ;
- un didacticiel adapté aux personnes âgées doit répéter plusieurs fois les mêmes actions pour une meilleure mémorisation de la position des éléments.

Ces travaux ont été partiellement publiés à [Lepicard et Vigouroux, 2011].

Chapitre 3 :
L'interaction *multitouch*
chez les personnes âgées

A. L'existant

Le *multitouch* est à la mode depuis l'avènement de l'iPhone d'Apple en 2007. C'est devenu un argument marketing incontournable. La possibilité de faire du *multitouch* est mise en avant comme nous pouvons le voir sur la fiche de présentation de l'iPad³⁷ : « L'écran Multi-Touch de l'iPad exploite la même technologie révolutionnaire que celui de l'iPhone. Mais cette technologie a été entièrement reconçue pour une surface plus vaste, afin d'en augmenter encore la précision et la réactivité. Alors, quelle que soit votre activité (zoomer sur un plan, feuilleter des photos ou supprimer un e-mail), l'iPad répondra avec une extraordinaire précision. Il fera exactement ce que vous voulez. ». Cependant, cette interaction n'est pas nouvelle comme nous l'avons vu dans l'état de l'art sur les technologies tactiles où dès 1984, les premiers écrans tactiles apparaissaient. Mais c'est avec la présentation de Jeff Han, de la table Microsoft Surface et surtout l'arrivée de l'iPhone que cette interaction a pris une tournure médiatique de grande ampleur. Nous avons constaté que les interactions faisant intervenir le *multitouch* sont le plus souvent celles faisant intervenir la manipulation de photos.

De nombreuses études ont été réalisées sur l'intérêt du tactile pour les personnes âgées [Tan et al. 2002], [Wood et al., 2005], [Piper, 2010]. Ces études montrent que le tactile est une interaction très intéressante, car la charge cognitive demandée à l'utilisateur est moins importante. Mais celle-ci demande une conception spécifique pour tenir compte des caractéristiques du tactile [Jin et al., 2007], [McLaughlin, 2009]. Cependant, peu de travaux ont été réalisés spécifiquement sur le *multitouch*. Par exemple, Moscovich [Moscovich et Hugues, 2008] montre qu'il est plus intéressant d'utiliser un doigt pour chaque main plutôt que deux doigts d'une seule pour des tâches indépendantes alors qu'il est plus intéressant d'utiliser deux doigts d'une seule main pour des tâches à un seul objectif comme une translation ou une rotation.

Un pan de recherche se pose sur la conception pour tous. Du coup, vu que le tactile répond bien à une utilisation pour les personnes âgées, il peut être bien adapté pour ce type de conception. Cependant, celle-ci n'est pas toujours la plus idéale pour une bonne utilisation par certaines populations et en particulier pour les personnes âgées. En effet, ces personnes ont

³⁷ Citation prise sur le site d'Apple au 18 février 2011 à l'adresse : <http://www.apple.com/fr/ipad/design/>

besoin d'une simplification des fonctionnalités et une réduction de leur nombre, ce qui va à l'encontre des besoins des jeunes adultes [Gregor et al., 2002], [Hawthorn, 2003].

À la vue de ces recherches, nous nous posons la question de savoir si l'apport du *multitouch* est utile ou non pour les personnes âgées. Même si [Wobbrock, 2009] montre qu'il est intéressant de garder plusieurs interactions différentes pour réaliser une même action, nous nous interrogeons sur la meilleure solution pour manipuler des objets.

Comme nous avons vu ci-dessus, la manipulation des photos est un bon moyen de tester le *multitouch* avec des gestes bien identifiés. De plus, la manipulation de photos est une activité qui est appréciée par les personnes âgées [Taylor, 2007], [Caprini, 2010]. C'est pourquoi pour pouvoir tester l'apport du *multitouch* et celui de l'interaction basée sur le tactile ou d'autres périphériques, nous avons conçu et développé une plateforme de test se basant sur la manipulation d'un objet qui a la forme d'une photo.

Ce chapitre est subdivisé en quatre parties : la présentation et l'explication de la plateforme de test ; le test de calibration de la précision ; le test de sélection de l'interaction à un doigt la plus pertinente ; et le test de comparaison entre une interaction à un doigt et le *multitouch*.

B. La conception de la plateforme de test des interactions

1) L'objectif de la plateforme de test

La plateforme a pour but de comparer différents couples logiciels/matériels d'interaction lors de la manipulation d'un objet. L'interaction testée permet la manipulation d'un objet au niveau du déplacement (Pan), de la rotation (Rotate) et du Zoom. Pour des raisons de compréhension par les personnes âgées, ces trois termes ont été convertis en verbe pour symboliser la notion d'action : respectivement Déplacer, Tourner et Zoomer. L'utilisateur doit faire correspondre l'objet à manipuler à la consigne indiquée : forme blanche transparente pour l'objet et la forme orange pour la consigne sur la Figure 114. Ceci doit être réalisé pour différentes valeurs de consigne. À chaque validation de la consigne, l'objet est repositionné au centre de l'écran avec une échelle de 1 et une rotation nulle. L'utilisateur doit de nouveau manipuler l'objet afin de le faire correspondre à la nouvelle consigne.

Les actions qui ne correspondent pas à la consigne sont désactivées pour ne pas perturber l'utilisateur âgé. Il est tout à fait possible dans le cas où nous voudrions étudier une manipulation d'objets avec plusieurs actions à réaliser en même temps d'activer toutes les actions.

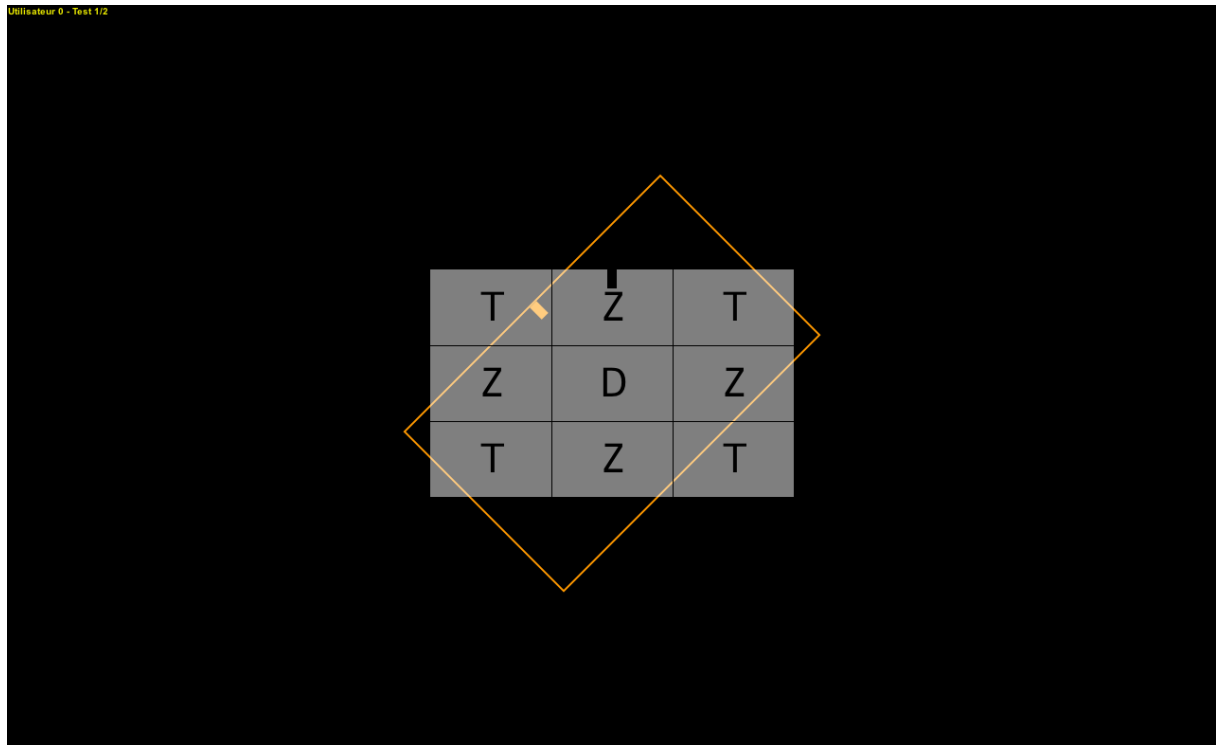


Figure 114 - Interface du test avec une consigne de rotation et l'interaction à base de grille

Quel que soit le test réalisé, il suit toujours la même procédure. Les étapes de la procédure sont au nombre de six et trois d'entre elles peuvent se répéter plusieurs fois (Cf. Figure 115). Une petite explication sur le déroulement du test est faite à l'utilisateur par l'expérimentateur. Ensuite, l'utilisateur est invité à remplir une feuille d'accord de consentement éclairé. Une fois celle-ci remplie, il lui est proposé de régler la hauteur de son fauteuil et la distance à laquelle se trouve la tablette. Puis, il se crée seul ou avec l'aide de l'expérimentateur un compte utilisateur où il précise son sexe, sa main directrice et sa date de naissance. La création de compte n'est pas nécessaire pour les personnes qui ont déjà participé à un test sur cette plateforme. En effet, tous les tests font référence à une même base de données de sujets. Ce test est découpé en $n+1$ parties : une partie pour chacune des n interactions et un questionnaire terminal. Chacune des parties relatives à une interaction est elle-même divisée en trois parties : une phase d'apprentissage de l'interaction avec plusieurs manipulations à effectuer qui correspond au pré-test dans la suite du document ; une phase de manipulation qui correspond au test permettant d'étudier l'interaction ; et une phase de questionnaire électronique demandant si la personne a perçu de la fatigue motrice ou visuelle et quelles sont les actions qu'elle a trouvées plus faciles, plus dures et celles qu'elle a préférées. Lors du pré-test, l'examineur explique le principe de l'interaction pour chaque type d'action (Déplacer, Tourner et Zoomer).

Le questionnaire final ou dit de post expérimentation est composé de deux parties : une partie électronique qui demande l'interaction que l'utilisateur a trouvé la plus facile, la plus dure et celle qu'il a préférée ; et une partie papier qui comporte de nombreuses questions spécifiques à chaque expérimentation. Tous les questionnaires papier des différents tests sont visibles dans les annexes.

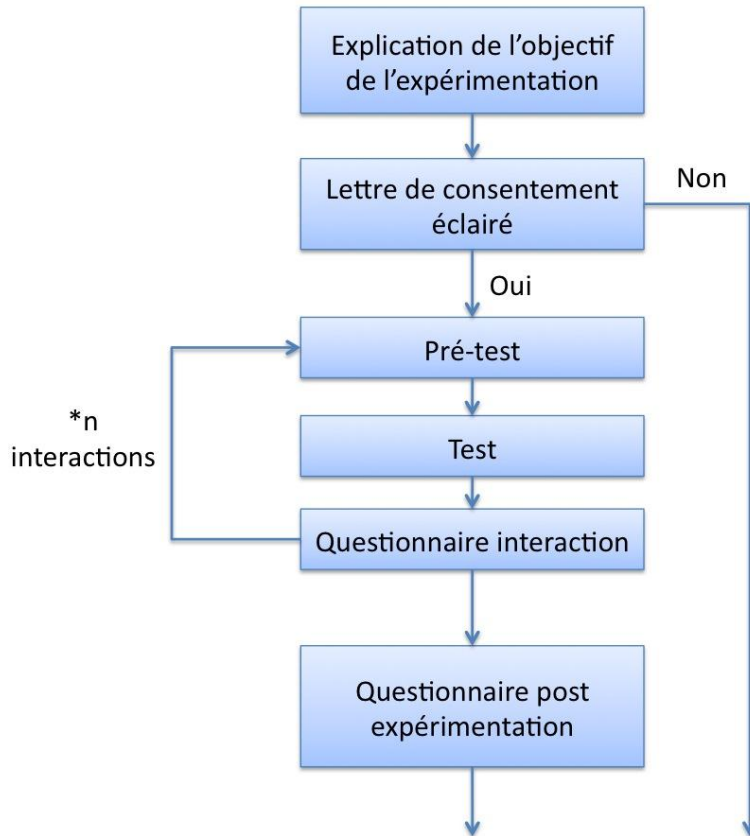


Figure 115 - Déroulement d'une expérimentation sur la plateforme de manipulation d'objet

2) La conception de l'objet à manipuler et de la consigne

Dans cette partie, nous montrons le cheminement qui nous a permis d'aboutir aux spécificités de l'objet à manipuler et de la consigne. L'objet est passé par trois étapes de conception pour aboutir à son état actuel. Nous avons d'abord défini la forme de l'objet, puis comment l'objet doit être utilisé dans les manipulations avec un doigt. Cette étape est nécessaire afin de déterminer la taille de l'objet. Par conséquent, la taille de la consigne est aussi fixée puisque celle-ci doit être identique. Après ces étapes qui ont permis de définir la forme et la taille de la consigne, il reste les deux dernières étapes qui sont de spécifier les valeurs que la consigne doit prendre et comment celle-ci est considérée comme valide.

a) La forme de l'objet à manipuler et celle de la consigne

La forme de l'objet retenue est volontairement au format rectangulaire avec un ratio de 3:2 pour correspondre à celui d'une photo classique. Ce format de photo n'est pas forcément le plus utilisé aujourd'hui, car les appareils photo numériques hormis les réflexes sont au format 4:3, mais c'est le format des appareils photo à l'époque de l'argentique. Hors comme nous

nous focalisons sur des tests pour des personnes âgées, nous nous basons sur le format de photo qu'ils ont eu l'habitude de voir.

Pour éviter un maximum de connotation sémantique au niveau de la photo, nous avons défini l'objet avec une couleur blanche. Le but du test étant de superposer l'objet à manipuler à l'objet de la consigne dans sa position finale, nous devons spécifier un des deux objets avec une transparence afin de pouvoir détecter facilement la position de l'un par rapport à l'autre. C'est pourquoi nous avons ajouté une transparence à l'objet à manipuler.

Un autre problème réside dans la perte du sens directionnel de la photo : nous ne pouvons plus distinguer le haut du bas. Pour cette raison, nous avons rajouté une encoche sur la partie milieu haute du rectangle.

Pour la consigne, nous avons sélectionné un objet identique en forme et en taille, mais où seulement le contour a été gardé. Ce choix s'explique pour permettre une meilleure différenciation sémantique entre l'objet à manipuler et la consigne. L'un correspond au contenant et l'autre au contenu.

b) La sélection des « designs » de manipulation directe à un doigt

Nous proposons différents « designs » de manipulation d'objet pour une interaction avec un doigt. Nous avons deux solutions de manipulation directe d'un objet : soit utiliser toute la surface de l'objet, soit une partie seulement. De plus, nous avons trois types de manipulation à faire : déplacer, tourner et zoomer. Ceci impose une conception permettant de pouvoir réaliser ces trois manipulations.

Nous avons abouti à deux solutions de manipulation de l'objet à un doigt. Nous les avons nommés respectivement boutons de sélection et grille :

- **Interaction de sélection** : pour la manipulation de l'objet avec la totalité de la surface, nous avons défini un menu de sélection de la manipulation à effectuer sur l'objet. Ce menu propose les trois actions. Il apparaît directement lors d'un clic sur l'objet si aucun mode de manipulation n'est sélectionné ou en laissant le pointeur sur l'objet quelques secondes sans bouger. La Figure 116 représente les états avec ou sans sélection d'une interaction. La Figure 117 représente l'état de sélection de l'interaction;
- **Interaction avec la grille** : pour la manipulation avec des parties de la surface de l'objet, nous avons découpé l'objet en zones de même taille pour faciliter le découpage visuel de l'objet par le sujet. Pour faciliter la manipulation et la sémantique, nous avons défini neuf zones [Miller, 1956] découpées en grille de trois

sur trois (Cf. Figure 114). La zone centrale permet la manipulation de l'objet en panoramique, les zones situées sur les coins permettent la manipulation de l'objet en rotation et enfin celles sur les bords permettent la manipulation de l'objet en agrandissement et réduction. Le choix de mettre la rotation et le zoom sur les coins et les bords et non au centre, est pour faciliter la manipulation. Lorsque nous cliquons sur les bords ou les coins de l'objet, la distance par rapport au centre est plus grande que si nous cliquons proche du centre ; ce qui permet d'être beaucoup plus précis lors de la manipulation.

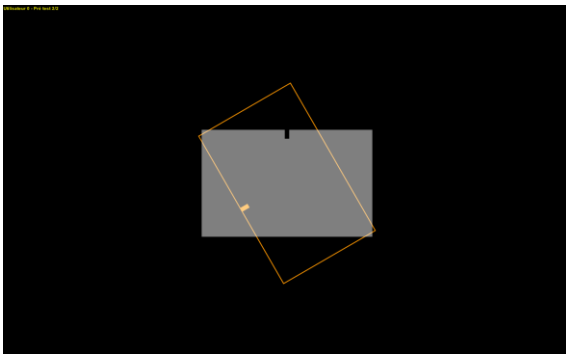


Figure 116 - Etat 0 de l'interaction à base de sélection pour une consigne de rotation

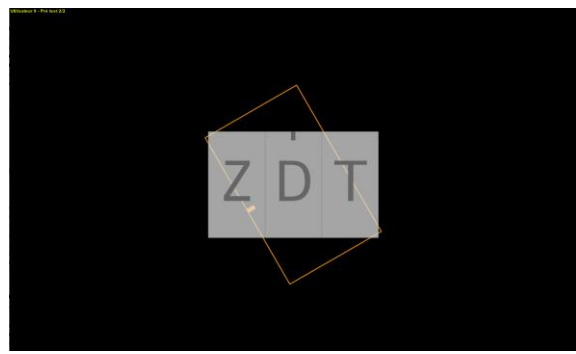


Figure 117 - Etat 1 de l'interaction à base de sélection pour une consigne de rotation

Pour chacune des interactions à un doigt, il fallait définir une symbolique permettant de savoir quelle case correspond à telle ou telle action. Pour éviter une mauvaise interprétation d'une représentation d'une image ou d'une icône, nous avons préféré utiliser des lettres qui n'ont pas ce souci de représentation. Les lettres retenues correspondent à la première lettre de chaque action. Nous avons donc retenu le D pour déplacer, le T pour tourner et le Z pour zoomer. Ce choix de lettres n'est valable que dans le cas où la personne maîtrise la langue française.

c) La taille de l'objet à manipuler et celle de la consigne

Les travaux de [Jin et al., 2007] recommandent une taille d'objet de seize millimètres minimum pour permettre des performances correctes sur le tactile pour les personnes âgées. Ces recommandations et l'utilisation de conception d'interaction à base de grille entraînent une taille minimale de l'objet à manipuler. Par conséquent, la taille de l'objet doit être de quarante-huit millimètres de haut. Comme notre écran a un pitch de 0,2 millimètre, nous avons pris une hauteur de 240 pixels de haut pour permettre la possibilité d'un découpage en trois lignes. Pour pouvoir garder le ratio 3:2, nous avons une largeur de 360 pixels. Ce qui

nous donne un rectangle de taille 360x240 pixels. À partir de cette taille, nous pouvons en déduire la taille de la consigne qui a une taille identique.

d) Les valeurs prises par la consigne

Nous avons sélectionné plusieurs valeurs pour la consigne afin de représenter la plupart des mouvements réalisables avec les trois types d'action choisis (Cf. Tableau 5). Par exemple, en se basant sur les nombres fournis par le tableau, pour un déplacement de l'objet en haut à gauche en phase de prétest, l'utilisateur devra déplacer l'objet de 180 pixels sur la gauche et de 120 pixels en haut : respectivement $360 \times 0,5$ et $240 \times 0,5$. Pour les prétests, chaque valeur de la consigne est à réaliser une seule fois. Les valeurs du déplacement ne sont pas anodines. Elles ont été choisies afin de ne pas avoir de chevauchement de la consigne et de l'objet et de dépassement hors de la zone d'affichage possible par l'écran.

Pour les tests, chaque valeur de la consigne est à réaliser deux fois durant le test. L'ordre de passage de chaque consigne est randomisé. Il est possible d'avoir deux fois la même consigne d'affilée avec la randomisation. Les valeurs de consigne sont différentes entre les phases de prétest et de test afin de limiter l'effet d'apprentissage moteur.

Tableau 5 - Valeurs des différentes consignes en fonction de l'action à effectuer et de l'étape du test

Action	Déplacer	Zoomer	Tourner
Pré-test	Déplacement dans les huit directions ³⁸ de 0,5 fois la taille de l'objet	63 %	60°
		83%	120°
		125%	-60°
		175%	-120°
Test	Déplacement dans les huit directions de 0,55 fois la taille de l'objet	50%	45°
		75%	90°
		150%	135°
		200%	-45°
			-90°
			-135°
			180°

Pour chaque interaction testée, l'utilisateur a donc 54 actions à réaliser :

³⁸ Les huit directions sont : haut gauche, haut centre, haut droite, centre gauche, centre droite, bas gauche, bas centre et bas droite.

$$54 = 8 \text{ (Déplacer/prétest)} + 4 \text{ (Zoomer/prétest)} + 4 \text{ (Tourner/prétest)} + 2 * [8 \text{ (Déplacer/Test)} + 4 \text{ (Zoomer/Test)} + 7 \text{ (Tourner/Test)}]$$

e) La validation de la consigne

Pour valider un déplacement de l'objet, l'utilisateur doit positionner l'objet à la position exacte de la consigne à une marge de validation près dont le fonctionnement et les valeurs sont définis par un test de calibration présenté plus tard (Cf. C). Cette marge de validation facilite la validation de la consigne.

Afin de détecter les micros déplacements dus aux ajustements de l'objet à déplacer, nous avons, dans un premier temps, ajouté un timer de validation de 500 millisecondes réinitialisé à chaque déplacement de l'objet. À la fin du timer, si l'objet correspond aux positions de validation, la consigne est validée. Après quelques essais empiriques, nous avons remarqué que ce timer n'était pas nécessaire, car le taux de rafraîchissement des événements tactiles par le système ne permet pas un suivi parfait du doigt. Il est par conséquent possible de détecter des mouvements de stabilisation sans ce timer. C'est pourquoi, nous avons choisi de ne pas garder le timer pour ne pas rajouter un élément cognitif perturbant pour les personnes âgées.

Toutefois, une fonction de « saut » permet de passer à la consigne suivante si l'utilisateur n'arrive pas à valider la consigne. Les sauts sont considérés comme un échec de la réalisation de la consigne. Un saut est déclenché par l'expérimentateur à la cinquième tentative de l'utilisateur pour la réalisation d'une même consigne ou sur demande de l'utilisateur si celui-ci ne se sent pas capable d'améliorer la position de l'objet. Une tentative est définie par le relâchement d'appui de l'interaction lorsque l'objet à manipuler est proche de la consigne.

Nous avons remarqué lors de prétests que les personnes âgées ne comprenaient pas le changement abrupt de positionnement de l'objet à manipuler généré par la nouvelle consigne. Nous avons donc rajouté une animation de transition après chaque validation de consigne. L'objet et la consigne ont leur transparence progressivement augmentée pour disparaître au bout de 50 millisecondes. Après ce temps, l'objet est repositionné au centre avec un angle de rotation nulle et une échelle de 1 et la nouvelle consigne est affichée.

3) La gestion des événements

La conception de la plateforme de tests nous a amenés à définir une gestion des événements : pour la récupération des informations fournies par l'utilisateur lors des expérimentations et pour l'optimisation de la manipulation des objets.

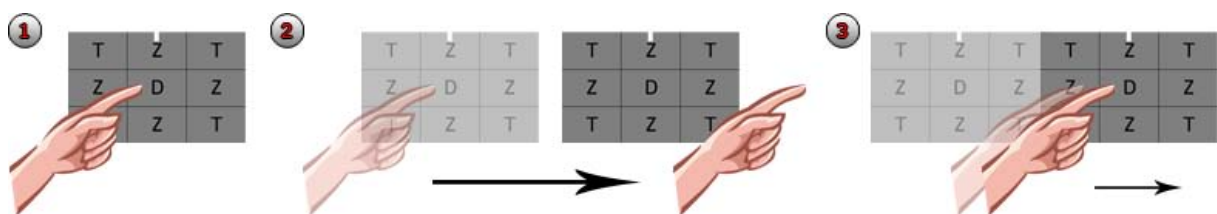
a) La gestion des événements pour la manipulation des objets

Nous avons utilisé la plupart des événements associables à un objet. L'événement de sortie de l'objet correspond au cas où le doigt sort d'une case ou de l'objet. Ceci entraîne l'arrêt de l'action en cours. Il existe deux cas de sortie d'objet :

- le cas volontaire où par exemple, pour la représentation en grille, l'utilisateur est en train de tourner l'objet et sort le doigt de l'objet en le poussant vers l'extérieur ;
- et le cas involontaire où le système ne suit pas au niveau du rafraîchissement des événements. Par conséquent, l'événement suivant se retrouve sur une autre case d'action.

Ce choix de couper l'action en cours se justifie pour contrer les problèmes des sorties involontaires lorsque toutes les actions sont activables. En effet, si l'utilisateur réalise une rotation trop vite pour le système et se retrouve sur la case d'action de zoomer, l'objet va tout d'un coup se mettre à s'agrandir ou à se réduire. Ceci provoque une perturbation chez l'utilisateur et une sensation de non-maîtrise de l'action qu'il réalise.

Une autre modification au niveau de la gestion des événements a aussi été ajoutée. Au cours des prétests de vérification avec des personnes âgées, nous avons observé des problèmes de déplacement de l'objet avec la fonction classique d'activation du glisser/déposer (*startDrag*). Nous pouvons analyser ce problème à partir de la Figure 118 : lors de l'étape 1, l'utilisateur appuie sur la case D de la grille associée à l'action de déplacer ; lors de l'étape 2, il commence à déplacer son doigt rapidement avec l'objet qui ne suit pas aussi vite entraînant un décalage entre la position du doigt et celle de l'objet ; et enfin lors de l'étape 3, l'objet rattrape son retard avec la réduction de la vitesse de déplacement du doigt. Cette latence de l'objet au niveau du suivi par rapport au doigt lors du déplacement se fait ressentir par les personnes âgées. Pour contrer cet effet perturbant, nous avons créé un timer qui toutes les 10 millisecondes rafraîchit la position de l'objet en fonction de la position du doigt. Avec cette solution, les personnes âgées rencontrent moins de problèmes de compréhension, car le suivi du doigt est plus régulier et à un taux de latence plus faible.



b) Les valeurs récupérées ou traces

Lors de la réalisation des tests, nous récupérons plusieurs informations. Nous pouvons les classer en trois catégories :

- les événements de la souris ;
- les propriétés de l'objet ;
- et les informations de la consigne.

La gestion des événements est associée à des événements souris. Ce choix est normal, car les périphériques de pointages communiquent avec les systèmes d'exploitation actuels à l'aide d'événements souris. Ceci est en train d'évoluer avec les nouvelles approches gestuelles. En effet, pour gérer les événements de plusieurs doigts, des modifications dans les événements sont créées.

Les propriétés de l'objet permettent de savoir à chaque modification d'une des propriétés de l'objet : sa position, sa rotation, son échelle ainsi que le moment quand cette modification a lieu.

Les informations de la consigne permettent d'identifier la consigne en cours, lorsqu'elle a débuté, lorsqu'elle est terminée ainsi que si elle a été abandonnée par l'intervention de l'expérimentateur.

c) Les valeurs exploitées

Pour pouvoir mesurer la performance de l'interaction ou du périphérique d'interaction à partir des traces, nous avons défini plusieurs variables dépendantes à étudier :

- le **T**emps de **R**éalisation d'une **C**onsigne (TRC) qui se décompose en trois sous temps :
 - o le **T**emps d'**A**nalyse (TAn) ;
 - o le **T**emps d'**A**pproche (TAp) ;
 - o le **T**emps de **S**tabilisation (TS).
- le **T**emps de **P**ré **M**ouvement (TPM) ;
- la courbe d'approche correspondant au temps mis pour chaque taux d'atteinte de la consigne ;
- et l'échec ou non de la réalisation de la consigne.

Le Temps d'Analyse correspond au temps entre l'apparition de la consigne et le premier appui sur l'objet.

Le Temps d'Approche correspond au temps entre le premier appui et l'instant où l'utilisateur a atteint ou dépassé la valeur exacte de la position de la consigne ou celle validée par la prise

en compte de la marge de validation. Cette notion de marge est présentée dans la partie test de calibration de la précision.

Le Temps de Stabilisation correspond au temps entre l'instant où l'utilisateur a atteint ou dépassé la valeur exacte de la position de la consigne et l'instant où la consigne est validée. Dans le cas où la marge de validation a déclenché la validation de la consigne, le temps de stabilisation sera nul.

Pour la courbe d'approche et le temps de pré mouvement, une notion d'atteinte à x% de la consigne doit être explicitée. Ce taux d'atteinte est un pourcentage permettant de normaliser les actions entre elles. Son calcul est différent suivant l'action :

- pour l'action de déplacer, la valeur est la division de la distance courante par la distance minimale à la consigne. La distance courante correspond à la distance entre la position courante et celle initiale. La distance minimale est la distance entre la position de la consigne et celle initiale ;
- pour l'action de tourner, la valeur est la division entre l'angle de rotation courant par l'angle de rotation de la consigne ;
- et pour l'action de zoomer, la valeur est la division de l'échelle courante par l'échelle de la consigne.

Pour la courbe d'approche, le pas d'échantillonnage est de 1%. La courbe représente l'évolution de ce taux entre 1% et 100% en fonction du temps.

Le Temps de Pré Mouvement correspond au temps entre le premier appui et le taux d'atteinte à 1%. Il permet de mesurer combien de temps en plus du temps d'analyse, l'utilisateur a besoin pour réellement commencer le mouvement.

L'échec ou non de la réalisation de la consigne a été réalisé manuellement. Lorsque l'utilisateur demande à passer, car il n'y arrive pas, ou bien, qu'il a mis plus de cinq tentatives pour réaliser la consigne, l'expérimentateur saute la consigne en cours pour passer à la suivante.

À ces résultats quantitatifs, de nombreux paramètres qualitatifs sont utilisés pour estimer la fatigue visuelle et motrice, les préférences des actions à réaliser et des interactions, etc. (voir Annexes).

4) L'équipement de test

Les participants ont utilisé le même Tablet PC Latitude XT2 de marque Dell présenté dans le chapitre 2 (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Comme pour les expérimentations du chapitre 2, le clavier virtuel et l'appui prolongé pour l'émulation du clic droit ont été

désactivés. Par la même occasion, l'application de test a été réalisée sur Adobe Flash. Cependant celle-ci n'a pas utilisé une solution client-serveur pour stocker les données, mais a opté pour un stockage directement sur la machine.

C. Le test de calibration de la précision

Dans l'état de l'art général (Cf. B), nous avons rapporté que les personnes âgées ont des pertes dans les facultés motrices : ils mettent plus de temps pour changer de direction [Clarck et al., 1987], la prise d'objet est plus lente. [Roy et al., 1996] ont montré que pour des tâches de préhension d'objets, les temps de mouvement dans les phases de décélération sont plus longs. Des troubles de coordination motrice surviennent lors de tâches de pointage complexe [Morgan et al., 1994], réalisant ainsi plus de sous mouvements et ayant plus d'hésitations. Les personnes âgées ont aussi tendance à fournir deux fois plus de force pour saisir un objet avec les doigts [Cole, 1991]. Ils sont aussi moins précis que les jeunes adultes [Spiriduso et Choi, 1993]. Sur un écran tactile, ils sont moins performants pour des tâches de glisser et déposer [Wood et al., 2005], or c'est exactement le type de mouvement que nous allons leur demander de réaliser. Ces études, associées à des auto-évaluations de notre test montrant que le positionnement au pixel près d'un objet est très difficile sur l'écran tactile du Latitude XT2, nous ont suggéré de vérifier que les personnes âgées peuvent réaliser sans difficulté majeure les séries de tests.

1) Le protocole du test

Un moyen de compenser ces difficultés de précision est d'être moins strict pour la validation de la consigne demandée. Nous proposons d'étudier une marge ou borne, de compensation d'erreur ou de validation au moyen d'un protocole de test. Notre étude visant à étudier trois types d'action (déplacer, tourner et zoomer), trois types d'unités ont été définies en accord avec le type d'action pour les marges. Les unités correspondantes sont respectivement le pixel pour l'action de déplacer, le pourcentage de l'échelle pour l'action de zoomer et le degré pour l'action de tourner. Dans le Tableau 6, le X correspond à la valeur de la marge. Par exemple pour l'action de déplacer, pour une marge de valeur 2, la zone de validation sera la forme de l'objet augmentée de 2 pixels sur chacun de ses côtés par rapport à la forme d'origine.

Tableau 6 - Marges de validation pour chaque action

Action	Déplacer	Zoomer	Tourner
Marges de validation	$\pm X$ pixels en horizontal $\pm X$ pixels en vertical	$\pm X$ % de l'échelle d'agrandissement ou de réduction	$\pm X$ degrés

Notre hypothèse sur ce test est que les personnes âgées ont besoin d'une marge de validation non nulle.

La variable indépendante de ce test est la valeur de la marge. Nous avons testé avec 4 valeurs. Par rapport au Tableau 6, nous utilisons comme valeur pour X pour chaque action (déplacer, zoomer et tourner) : 0, 1, 2 et 3. Seules les valeurs de la consigne des prés-tests (Cf. Tableau 5) ont été utilisées pour ne pas surcharger la personne âgée lors des tests. En effet, les actions avec une marge de 0 sont difficiles et demandent beaucoup de temps. Il n'est pas nécessaire de leur demander de réaliser plus de tests qui ne sont pas utiles pour déterminer la marge à choisir. Pour les valeurs de zoom, seulement deux valeurs ont été utilisées (63% et 125%).

La variable dépendante que nous analysons est le taux d'échec de réalisation de la consigne. Pour le calculer, nous divisons le nombre de sauts de consigne par le nombre d'interactions à réaliser. Nous aurions pu analyser d'autres variables, mais ce n'est pas l'objectif de ce test.

La représentation à base de grille a été retenue et l'interaction *multitouch* a été désactivée.

Au niveau de la passation du test, nous utilisons la procédure indiquée précédemment (Cf. Figure 115) hormis la partie sur le questionnaire post expérimentation. Les différentes interactions testées sont les quatre valeurs que peut prendre la marge. La valeur de la marge dépend du groupe de l'utilisateur. Elle est fixée de telle sorte que les groupes soient contre balancés pour neutraliser l'effet d'apprentissage de l'interaction.

2) Les résultats

Nous avons fait passer ce test de calibrage à huit personnes âgées avec une moyenne d'âge de 76,25 ans avec un écart type de 6,37 et sans déficience cognitive lourde. Cette contrainte a été vérifiée en posant la question à un proche et à la personne elle-même. Pour tous les sujets, les déficiences visuelles sont comblées par le port de lunettes si nécessaire.

Les résultats du taux d'échec (Cf. Tableau 7) confirment notre hypothèse que les personnes âgées ont des problèmes de précision quel que soit l'action à effectuer. Nous observons que l'action de déplacer provoque le taux d'erreurs le plus élevé. Celui-ci disparaît à partir d'une marge de validation de ± 2 pixels. L'action de tourner est assez facile pour la plupart des personnes âgées. Cependant, ce n'est qu'à partir d'une marge de 1° que le taux d'erreur est nul. L'action de zoomer est assez difficile pour les personnes âgées. Elle se rapproche du taux d'erreurs de l'action de déplacer et demande une marge de validation de 2% de l'échelle pour éviter les erreurs de sauts de consigne.

Tableau 7 - Taux d'erreurs suivant l'action à réaliser et la valeur de la marge de validation

Valeur de la marge	0	1	2	3
Déplacer	46,88%	17,19%	0%	0%
Tourner	6,25%	0%	0%	0%
Zoomer	31,25%	12,5%	0%	0%

Pour la suite des tests, comme il faut que le nombre de sauts de consigne soit minimal, nous avons sélectionné les marges permettant d'avoir un taux d'erreur nul. Par conséquent, nous avons une marge de validation de 2 pixels pour l'action de déplacer, une marge de validation de 1° pour l'action de tourner et une marge de validation de 2% pour l'action de zoomer.

Nous avons observé les performances au niveau du temps de réalisation de chaque action en fonction (Cf. Tableau 8). Nous pouvons remarquer que les temps n'évoluent pas de la même manière pour chaque type d'action.

Tableau 8 – Moyenne et déviation absolue de la moyenne de la médiane du temps de réalisation suivant l'action et la valeur de la marge de validation

Valeur de la marge	0	1	2	3
Déplacer	39,62 s / 14,64 s	21,17 s / 11,93 s	14,37 s / 7,13 s	10,52 s / 4,04 s
Tourner	20,96 s / 13,66 s	14,2 s / 8,86 s	10,59 s / 6,21 s	10,55 s / 7,12 s
Zoomer	37,82 s / 19,57 s	16,58 s / 12,06 s	14,52 s / 4,08 s	5,56 s / 4,64 s

D. Le test du choix de l'interaction à 1 doigt de référence

Pour pouvoir comparer le *multitouch* avec une interaction à 1 doigt, il faut définir quel type d'interaction à 1 doigt est le plus adapté aux personnes âgées. Nous avons proposé deux solutions présentées dans B.2)b). Chacune d'elles a ses avantages et ses désavantages. Cependant il est intéressant de savoir quelles sont les performances que les personnes âgées obtiennent sur ces interactions. Aux résultats purement quantitatifs, nous nous intéressons aussi aux résultats qualitatifs qui sont très importants pour estimer le degré de satisfaction et d'acceptabilité de chaque interaction.

1) Le protocole du test

Pour le protocole de ce test, nous utilisons la procédure de passation présentée précédemment (Cf. Figure 115). Comme nous comparons deux interactions, nous avons besoin de deux groupes contre balancés pour neutraliser l'effet d'apprentissage du fonctionnement des interactions.

L'interaction *multitouch* a été désactivée.

La variable indépendante est le type d'interaction à 1 doigt utilisé.

Les variables dépendantes sont les différents temps présentés dans la partie B.3)c) ainsi que le taux d'erreurs correspondant au nombre d'échecs de la consigne divisé par le nombre de consignes identiques demandées. Dans l'analyse des résultats, le taux d'erreurs n'a pas été explicité, car celui-ci est nul suite au réglage de la marge de validation.

Notre hypothèse sur ce test est qu'une des deux interactions à 1 doigt devrait être plus performante que l'autre. Ce qui nous permettra de choisir quelle interaction prendre pour le test comparatif avec le *multitouch*.

2) Les participants

Douze jeunes adultes de 23 à 33 ans (avec une moyenne de 28,08 ans et un écart type de 3,48) ont participé dans cette expérimentation ainsi que douze personnes âgées de 65 à 89 ans (avec une moyenne de 78,7 ans et un écart type de 6,98) sans déficience cognitive lourde. Cette contrainte a été vérifiée en posant la question à un proche et à la personne elle-même. Pour tous les sujets, les déficiences visuelles sont comblées par le port de lunettes si nécessaire. Les deux populations ont été comparées afin d'étudier l'impact de l'âge sur les performances.

3) Les résultats qualitatifs

L'analyse de l'action la plus facile (Cf. Figure 119) montre que les personnes âgées préfèrent majoritairement, sur l'interaction à base de grille, l'action de déplacer un objet alors que les jeunes adultes ont des avis plus partagés. L'interaction à base de sélection entraîne une légère augmentation du nombre de réponses favorables pour l'action de tourner. Nous supposons que la contrainte apportée par le relâchement de l'objet lorsque nous sortons de la case n'est plus effective avec l'interaction à base de sélection. Ce qui provoque un changement général de comportement des deux populations vis-à-vis de l'interaction qu'ils considèrent comme la plus facile.

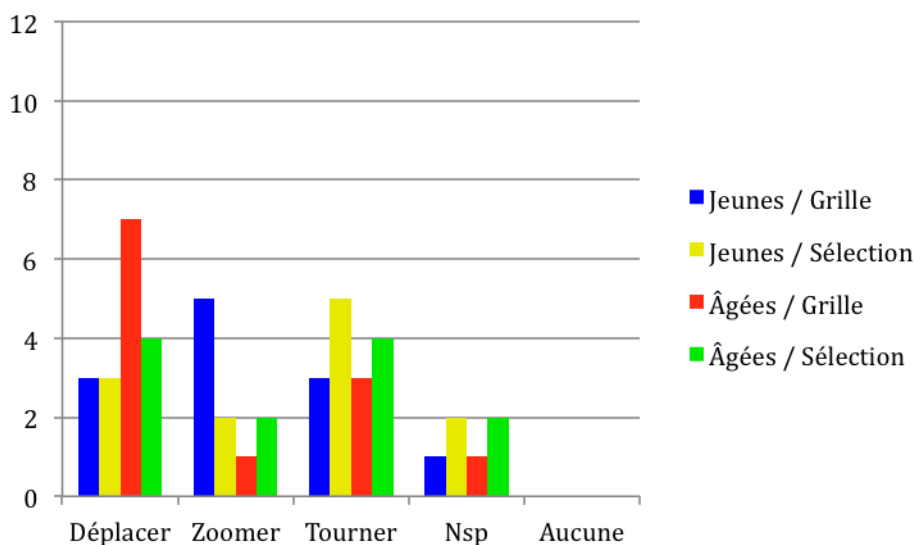


Figure 119 - Répartition des avis sur les actions considérées comme les plus faciles pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions

L'analyse de l'action la plus dure (Cf. Figure 120) montre que, globalement, les jeunes adultes et âgées ont plus de mal avec l'action de tourner avec l'interaction à base de grille. Une partie des jeunes adultes considère que l'action de déplacer est plus dure. La raison évoquée est qu'ils ont l'impression d'avoir plus de mal à bien positionner l'objet. Quant aux personnes âgées, elles sont plus embêtées par les autres interactions et plus spécialement l'action de zoomer.

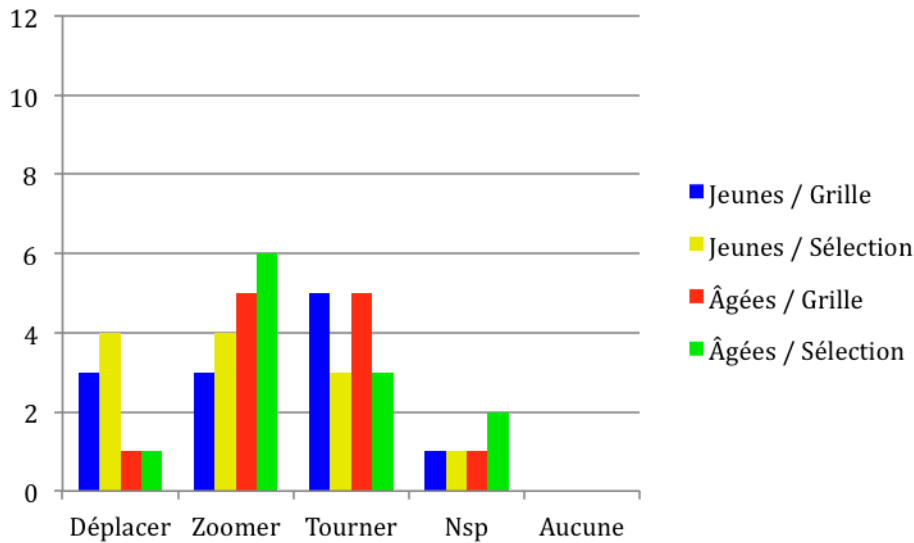


Figure 120 - Répartition des avis sur les actions considérées comme les plus dures pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions

L'analyse des préférences d'utilisation des actions montre que pour les jeunes adultes, aucune action ne se démarque des autres tandis que pour les personnes âgées l'action de déplacer est majoritairement préférée quel que soit l'interaction utilisée. Ce choix peut s'expliquer par le fait que l'action de déplacer demande moins de charges cognitives que les deux autres actions. En effet, une partie des personnes âgées se trompe lors de la direction à prendre pour l'action de tourner ou l'action de zoomer alors que ce n'est pas le cas avec l'action de déplacer. Avec l'interaction à base de sélection, une partie des personnes âgées ne sait pas quel type d'action elle préfère. Ceci peut s'expliquer par le fait que la difficulté n'est plus le critère principal pour le choix de l'interaction préférée, mais plutôt la phase de sélection de l'action.

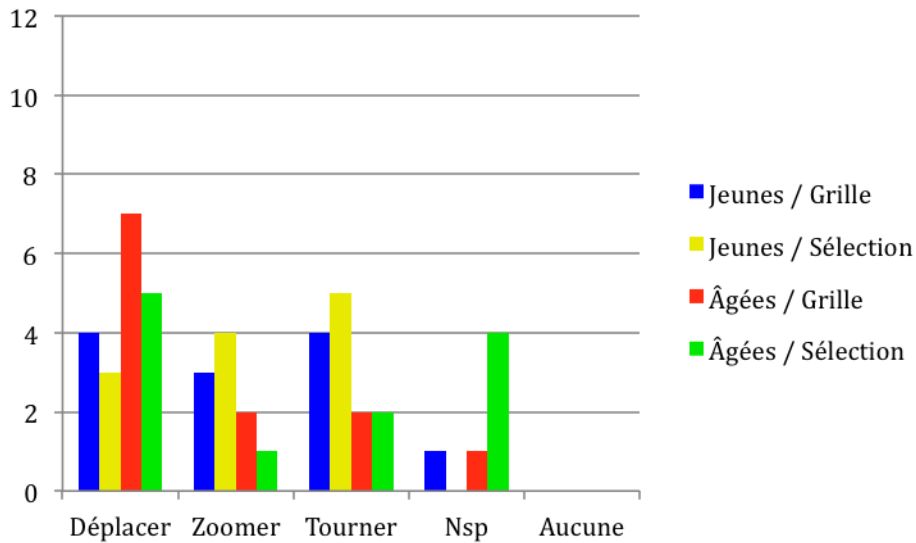


Figure 121 - Répartition des avis sur les actions considérées comme les préférées pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions

Au niveau des préférences de l'interaction (Cf. Figure 122, Figure 123 et Figure 124), nous observons que l'interaction préférée est la plupart du temps la plus facile. Les jeunes adultes préfèrent majoritairement l'interaction à base de grille tandis que pour les personnes âgées, seule une légère préférence apparaît. En analysant plus finement les choix des personnes âgées, nous nous apercevons que les personnes âgées choisissent quasi systématiquement la dernière interaction utilisée. Par conséquent, nous ne pouvons pas conclure à partir de ces résultats si une des deux interactions se démarque pour les personnes âgées.

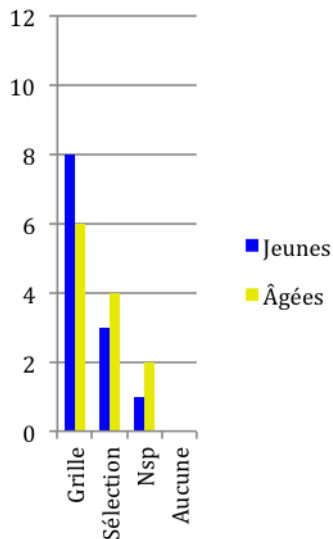


Figure 122 - Choix de l'interaction considérée comme la plus facile pour chacune des deux populations adultes

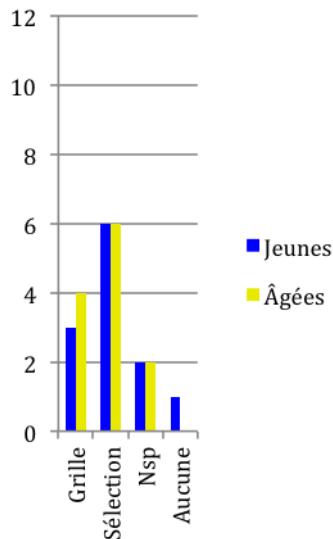


Figure 123 - Choix de l'interaction considérée comme la plus dure pour chacune des deux populations adultes

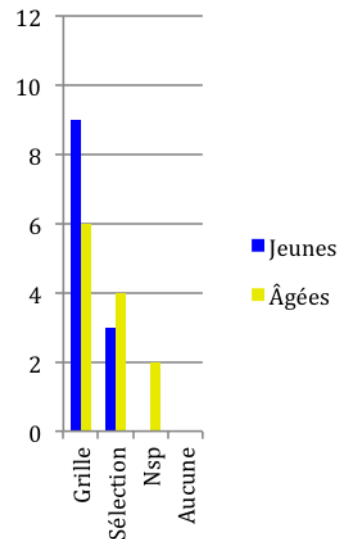


Figure 124 - Choix de l'interaction considérée comme la préférée pour chacune des deux populations adultes

Au niveau de la fatigue, nous retrouvons des résultats assez identiques à l'expérimentation sur la mémoire du chapitre 2. A savoir, les personnes âgées ne perçoivent presque jamais de fatigue motrice et une partie des jeunes adultes qui en perçoit. Une personne âgée a ressenti de la fatigue visuelle pour les deux interactions. Nous pouvons proposer qu'elle était probablement fatiguée avant le test. Une autre personne âgée a ressenti de la fatigue visuelle et motrice pour l'interaction à base de grille lors du premier test. Comme elle n'a pas ressenti de fatigue au test de la deuxième interaction, nous pouvons en déduire deux interprétations différentes : soit qu'elle devait être fatiguée en commençant le test et qu'elle a pu se reposer au cours des tests, soit que le test de la grille nécessite plus d'attention au niveau visuel et moteur.

Le choix de la taille des cases, défini à partir des résultats de Jin [Jin et al., 2007], est correct, car il se voit confirmer par les résultats qualitatifs. Aucune personne n'a trouvé les cases trop petites pour utiliser l'interaction.

Le choix des lettres comme représentation des actions à effectuer est considéré comme pertinent par les personnes âgées (Cf. Figure 125). A contrario, les jeunes adultes habitués à l'informatique préfèrent une symbolique à base d'icône.

Au niveau des erreurs de mémorisation de la localisation des actions (Cf. Figure 126 et Figure 127), nous avons défini deux types d'erreurs : majeure ou mineure. Une erreur mineure correspond à une erreur qui n'empêche pas l'utilisateur de réaliser une consigne. Par exemple,

si l'utilisateur n'a pas mémorisé la position des Z verticaux dans l'interaction à base de grille, mais a mémorisé ceux horizontaux, il pourra réaliser l'action de zoomer. Une erreur majeure entraîne forcément des erreurs de manipulation. Toutes les erreurs sont majeures pour l'interaction à base de sélection. Nous remarquons que les personnes âgées ne font pas d'erreurs de placement des différentes actions pour l'interaction à base de sélection tandis que les jeunes adultes en font. L'explication principale est que les jeunes adultes ne cherchent pas à mémoriser la position de chaque action, car il est très rapide de savoir où est située telle ou telle action. En considérant que les erreurs mineures n'empêchent pas la réalisation de l'action, l'interaction à base de grille est quasi aussi performante voir aussi performante sur le plan des erreurs. En effet, la personne âgée ayant réalisé l'erreur majeure a inversé les Z et les T. Nous supposons que cette inversion est due à la combinaison d'avoir réalisé l'interaction à base de grille en première et à la réduction de performance dans l'utilisation de la mémoire de travail chez les personnes âgées.

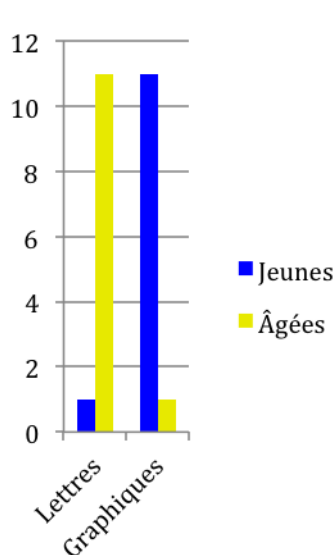


Figure 125 - Préférence de la représentation des actions pour chacune des deux populations adultes

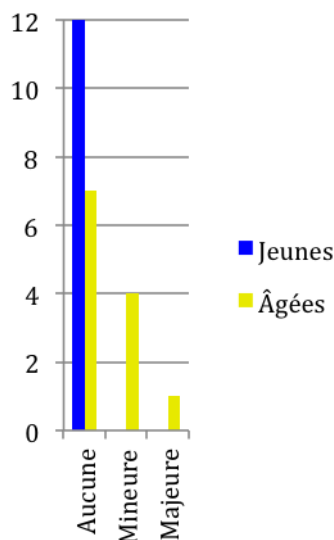


Figure 126 - Nombre d'erreurs de mémorisation de la position des actions pour l'interaction à base de grille pour les deux populations

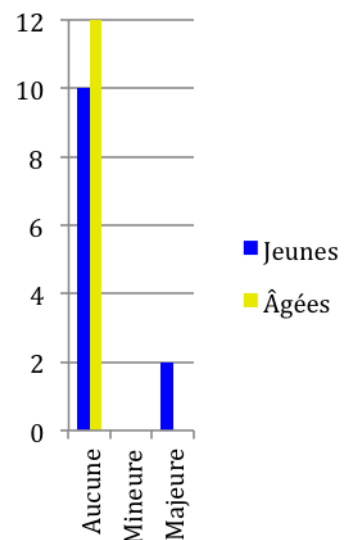


Figure 127 - Nombre d'erreurs de mémorisation de la position des actions pour l'interaction à base de sélection pour les deux populations

Au niveau des erreurs de mémorisation des noms des différentes actions, il existe trois catégories pour nommer l'action :

- le verbe fourni lors de l'explication du fonctionnement des interactions « Déplacer », « Zoomer » et « Tourner » ;

- le nom de l'action associé au verbe qui donne respectivement « Déplacement », « Zoom » et « Rotation » ;
- ou tout autre type de dénomination.

Pour l'action de zoomer, deux personnes âgées ont donné comme nom d'action « Agrandir / Diminuer ». Ceci explique que le terme « zoom » n'est pas connu par une partie des personnes âgées. Les graphes Figure 128, Figure 129 et Figure 130 montrent que toutes les personnes ont bien mémorisé le nom des actions hormis pour l'action de zoomer. Au niveau de la dénomination des actions, les jeunes adultes qui ont utilisé un nom pour une action ont fait de même pour les autres actions. Pour l'action de tourner, nous constatons que quasi toutes les personnes âgées utilisent le verbe. Nous supposons qu'elles n'utilisent pas le mot rotation dans leur langage courant. À l'inverse, le verbe zoomer, n'est pas vraiment connu et utilisé par celles-ci.

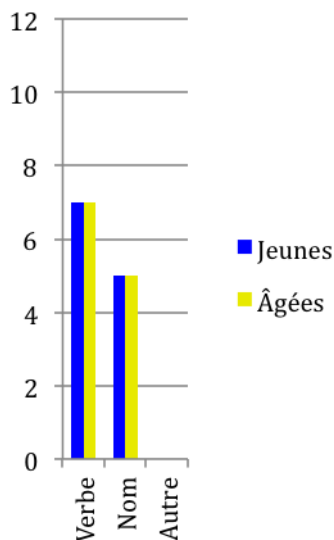


Figure 128 - Dénomination de l'action de déplacer par chacune des deux populations adultes

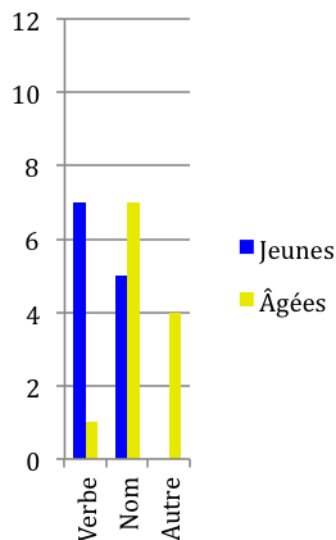


Figure 129 - Dénomination de l'action de zoomer par chacune des deux populations adultes

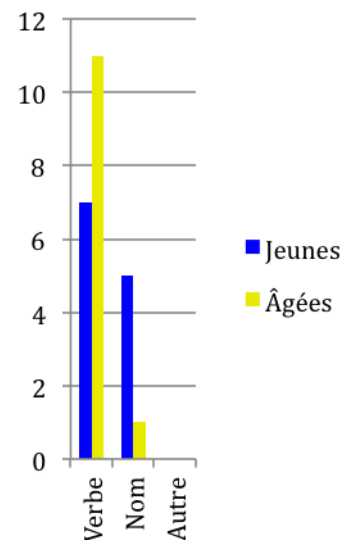


Figure 130 - Dénomination de l'action de tourner par chacune des deux populations adultes

Nous avons voulu savoir s'il est nécessaire de garder affichées les lettres et la grille pour l'interaction à base de grille. Les résultats (Cf. Figure 131 et Figure 132) nous montrent une légère tendance en faveur de la suppression de ces deux éléments. Cette tendance n'est pas significative. Il serait intéressant de voir l'évolution de ces résultats avec une cohorte d'utilisateurs plus grande.

Finalement, nous avons voulu vérifier si le découpage de la grille en 9 zones est pertinent pour les utilisateurs. Globalement, les personnes âgées (Cf. Figure 133) préféreraient un

découpage avec 3 zones plutôt que 9 pour ne pas surcharger le nombre de cases quitte à perdre la sémantique de positionnement avec l'action de tourner dans les coins, l'action de zoomer sur les axes cardinaux et l'action de déplacer au centre. Les jeunes adultes préfèrent majoritairement l'organisation en 9 zones pour garder la sémantique.

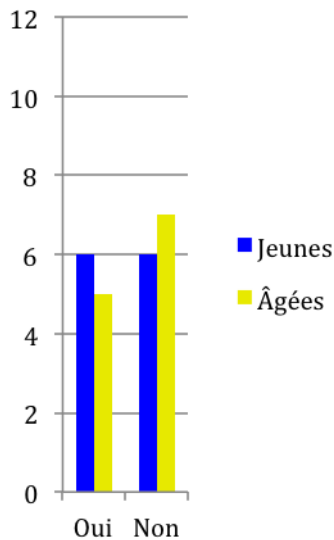


Figure 131 - Avis sur le maintien de l'affichage des lettres pour chacune des deux populations adultes

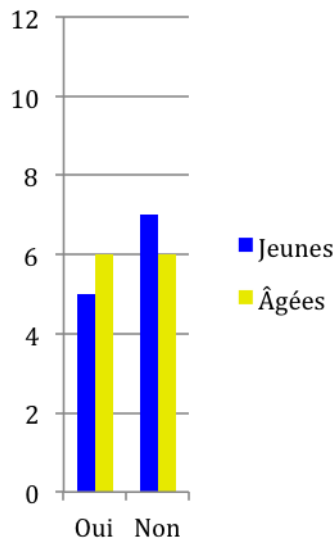


Figure 132 - Avis sur le maintien de l'affichage de la grille pour chacune des deux populations adultes

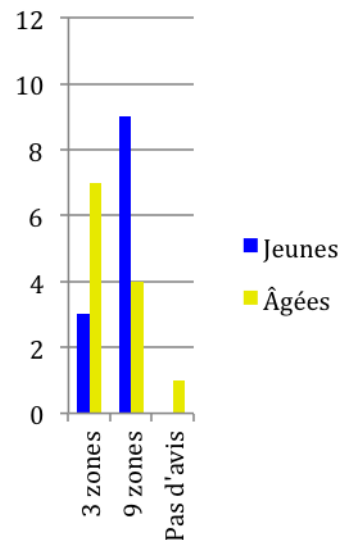


Figure 133 - Avis sur l'emploi d'un découpage en 3 zones ou en 9 zones pour l'interaction avec la grille

4) Les résultats quantitatifs

Pour chaque variable analysée, un test Shapiro et de Bartlett ont été réalisés. Si la condition d'homoscédasticité est respectée, une ANOVA, suivie d'un test de TukeyHSD pour comparer les moyennes ont été effectués. Si la condition n'a pas été respectée, un test de Kruskal-Wallis a alors été réalisé, suivi d'un test de Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn pour comparer les moyennes.

a) Le Temps de Réalisation d'une Consigne

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que le type de population ($F(1,2580)=579,73$ et $p<2.2^{-16}$), l'interaction ($F(1,2580)=6,88$ et $p=8,77^{-03}$) et le type d'action ($F(2,2580)=20,97$ et $p=9,28^{-10}$) ont des différences significatives.

Il existe une interaction entre les facteurs population et type d'action ($F(2,2580)=13,92$ et $p=9,75^{-07}$). L'analyse de cette interaction (Cf. Figure 134) montre que les jeunes adultes sont globalement stables au niveau du type d'action avec des performances un peu moins bonnes pour l'action de déplacer, tandis que chez les personnes âgées, l'action de zoomer est

plus compliquée que les deux autres types d'action. Les personnes âgées sont aussi plus lentes que les jeunes adultes pour réaliser chaque action.

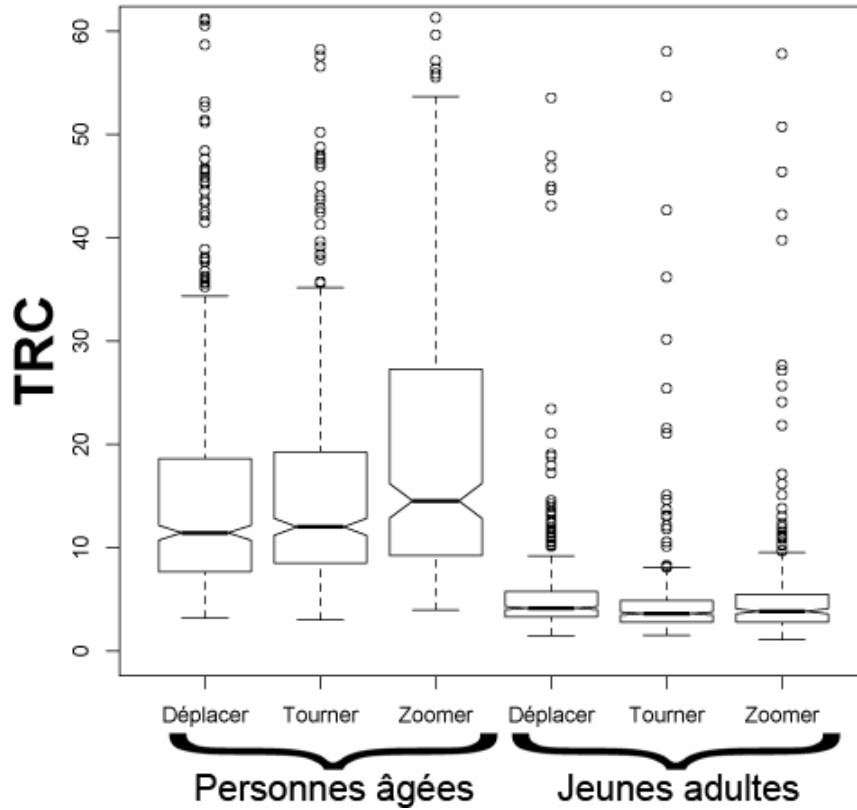


Figure 134 - TRC en secondes en fonction du type d'action et de la population

Il est intéressant de relever que pour les deux populations, l'interaction à base de grille est plus performante que l'interaction à base de sélection (Cf. Figure 135).

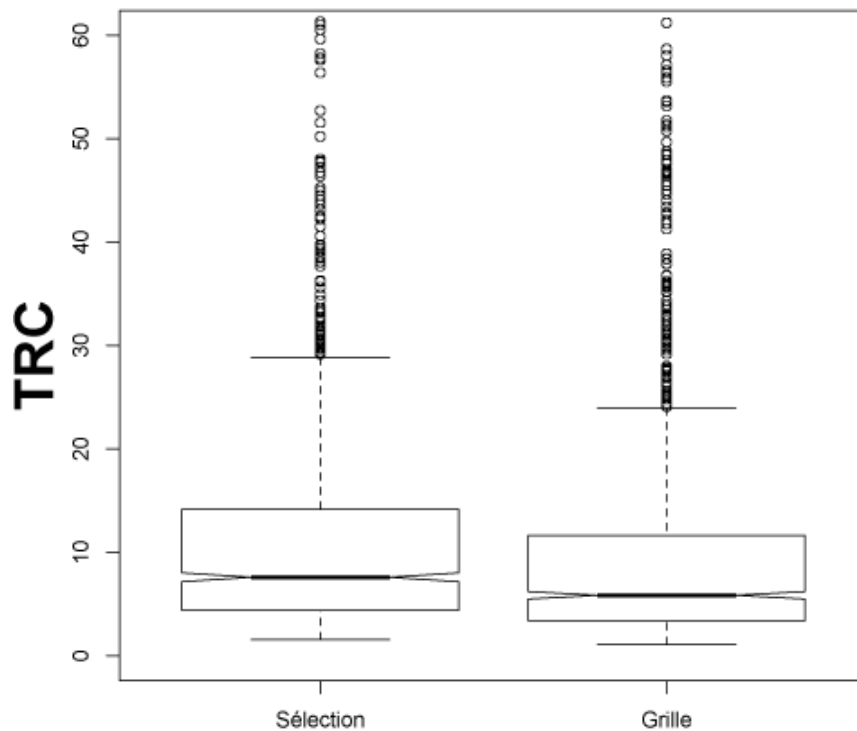


Figure 135 - TRC en secondes en fonction de l'interaction

b) Le Temps d'Analyse

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que la population ($F(1,2580)=398,09$ et $p<2,2^{\circ}-16$), l'interaction ($F(1,2580)=122,25$ et $p<2,2^{\circ}-16$) et le type d'action ($F(2,2580)=16,87$ et $p=5,24^{\circ}-08$) ont des différences significatives.

Il existe deux interactions, une interaction entre les facteurs population et interaction ($F(1,2580)=47,28$ et $p=7,68^{\circ}-12$) et une interaction entre les facteurs population et type d'action ($F(2,2580)=7,11$ et $p=8,29^{\circ}-04$).

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et interaction (Cf. Figure 136) montre que la différence entre les deux interactions pour le temps d'analyse est moins importante chez les jeunes adultes que chez les personnes âgées. L'interaction à base de sélection est plus lente pour le temps d'analyse quel que soit la population. Ce résultat est justifié par le principe même de l'interaction à base de sélection (appui et relâcher suivi d'un autre clic pour la sélection de l'action appropriée).

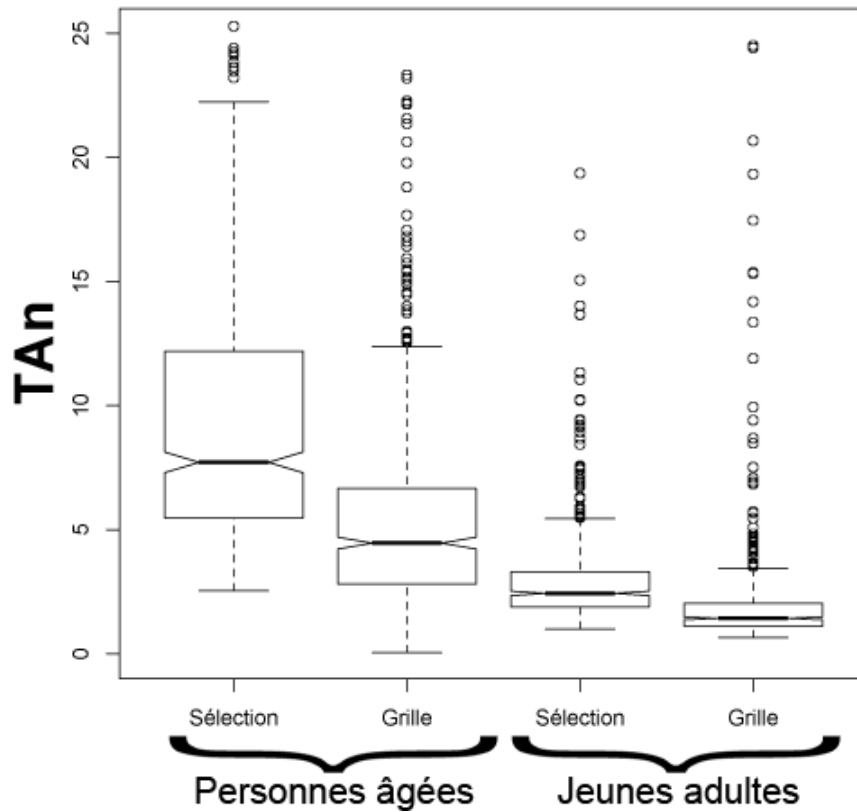


Figure 136 - TAN en secondes en fonction de l'interaction et de la population

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et type d'action (Cf. Figure 137) montre que les jeunes adultes ont un temps d'analyse équivalent pour les actions tourner et zoomer contrairement aux personnes âgées qui mettent plus de temps pour analyser la situation pour l'action de zoomer que pour celle de tourner.

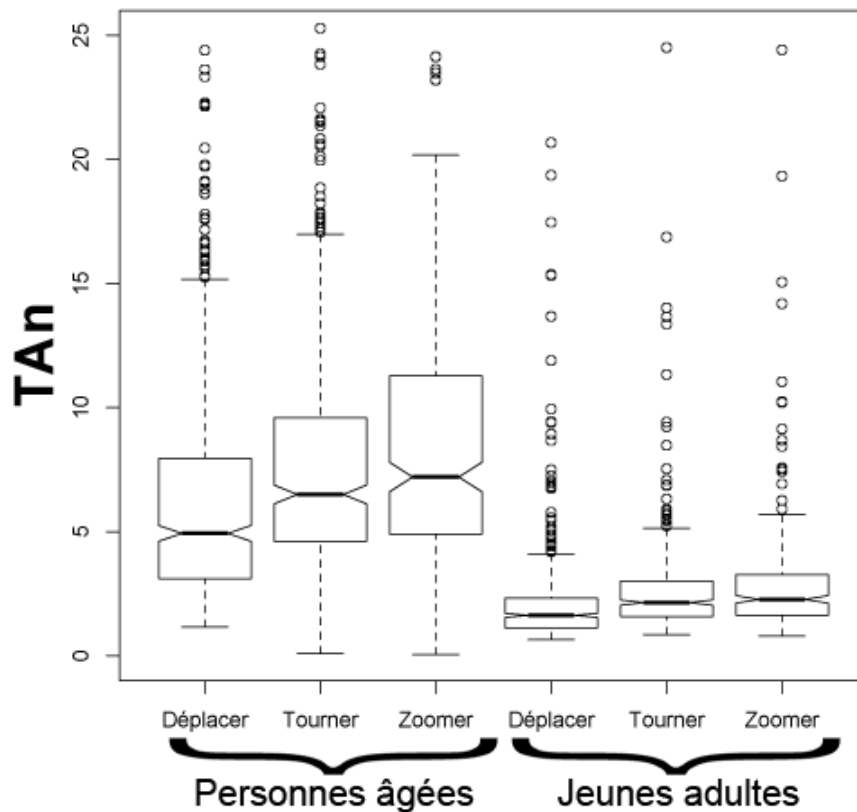


Figure 137 - TAN en secondes en fonction du type d'action et de la population

c) *Le Temps d'Approche*

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action sur le temps d'approche montre que tous les facteurs ont des différences significatives : $F(1,2580)=257,82$ et $p<2,2^{\circ}-16$ pour le facteur population ; $F(1,2580)=52,54$ et $p=5,54^{\circ}-13$ pour le facteur interaction et $F(2,2580)=54,28$ et $p<2,2^{\circ}-16$ pour le facteur type d'action. Tous les facteurs interviennent dans une interaction. La triple interaction est significative $F(2,2580)=3,42$ et $p=3,29^{\circ}-02$.

L'analyse de cette interaction entre les trois facteurs (Cf. Figure 138) montre que l'action de tourner pose plus de problèmes que les autres actions avec l'interaction à base de grille pour les jeunes adultes. Cette observation s'explique par un nombre plus grand de relâchements dû à une sortie de case de la grille avec cette interaction et cette action. A l'inverse chez les personnes âgées, le ralentissement global dans leur mouvement limite la différence par rapport à l'action de zoomer. Nous remarquons également que le TAp est plus important et plus variable pour les actions de tourner et de zoomer sur l'interaction à base de grille pour les

personnes âgées. Pour l'interaction à base de sélection, les performances sur l'action de zoomer et de tourner sont équivalentes pour les personnes âgées.

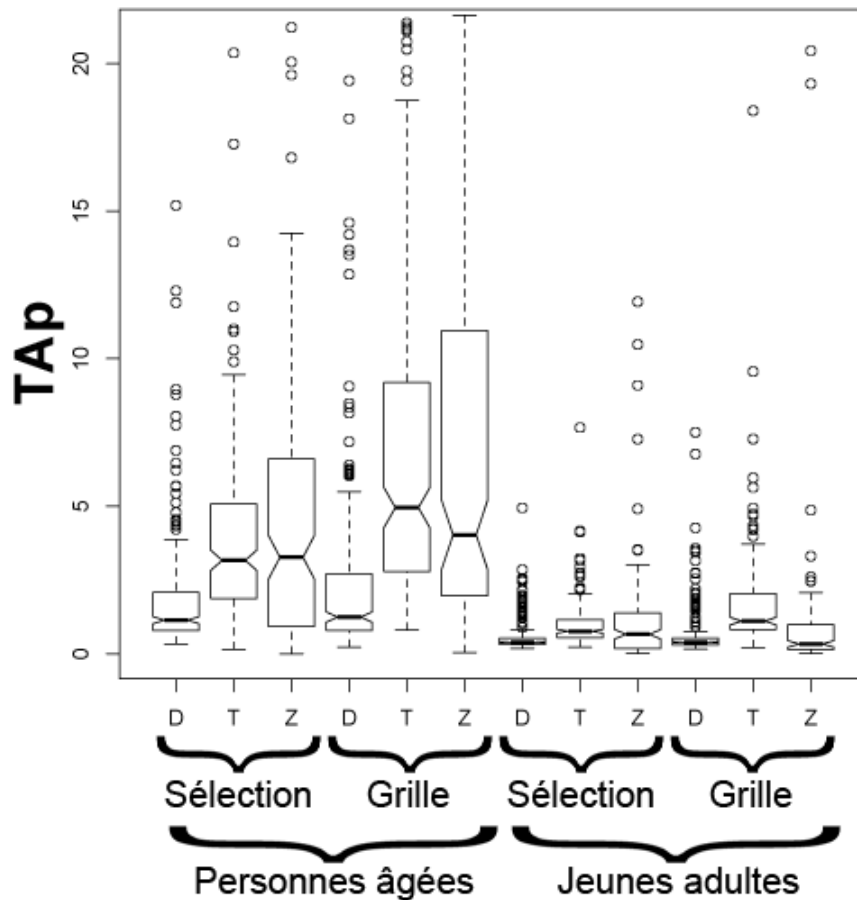


Figure 138 - TAp en secondes en fonction du type d'action, de l'interaction et de la population

d) Le Temps de Stabilisation

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que la population ($F(1,2580)=142,48$ et $p<2,2^{\circ}-16$) et le type d'action ($F(2,2580)=67,68$ et $p<2,2^{\circ}-16$) ont des différences significatives. Il existe une interaction entre les facteurs population et type d'action ($F(2,2580)=18,96$ et $p=6,69^{\circ}-09$).

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et type d'action (Cf. Figure 139) montre que l'action de déplacer est plus lente au niveau de la stabilisation comparativement aux deux autres actions et cela quelle que soit la population considérée. Pour les actions de zoomer et de tourner, le temps de stabilisation des jeunes adultes est proche de celui des personnes âgées, mis à part une variance plus élevée pour celles-ci. Par contre pour l'action de déplacer, le temps de stabilisation est plus long pour les personnes âgées comparativement aux jeunes adultes.

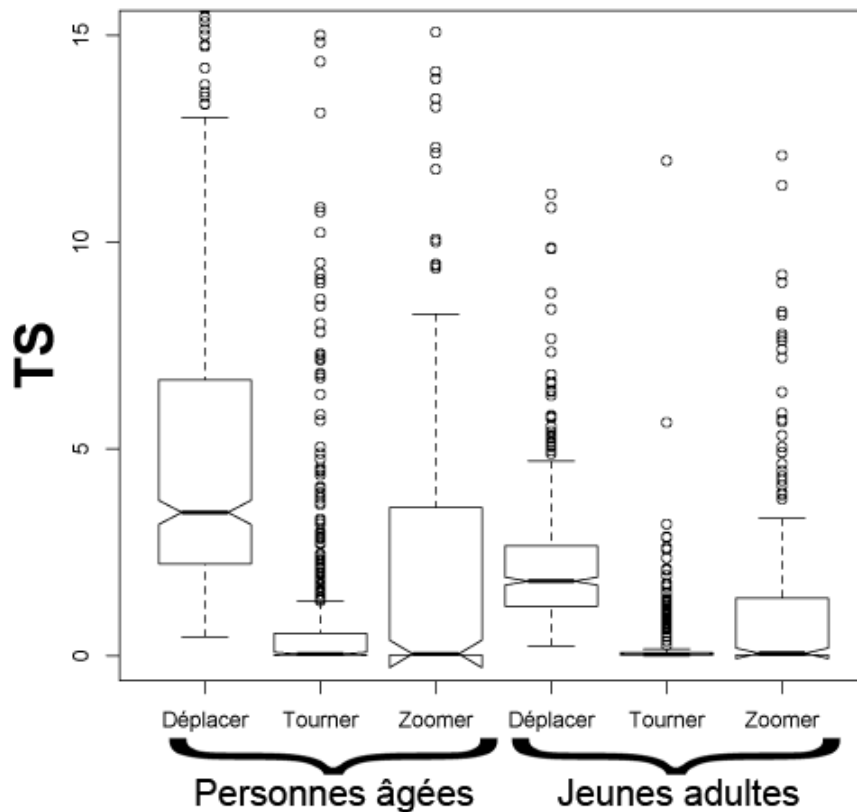


Figure 139 - TS en secondes en fonction du type d'action et de la population

e) *Le Temps de Pré Mouvement*

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que tous les facteurs ont des différences significatives avec : pour la population $F(1,2580)=93,11$ et $p<2,2^{\circ}-16$; pour l'interaction $F(1,2580)=21,85$ et $p=3,09^{\circ}-06$ et pour le type d'action $F(2,2580)=32,76$ et $p=8,88^{\circ}-15$. Il existe une interaction entre tous les facteurs deux à deux : entre les facteurs population et interaction $F(1,2580)=7,44$ et $p=6,44^{\circ}-03$; entre les facteurs population et type d'action $F(2,2580)=17,41$ et $p=3,1^{\circ}-08$; et entre les facteurs interaction et type d'action $F(2,2580)=5,55$ et $p=3,94^{\circ}-03$.

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et interaction (Cf. Figure 140) montre qu'il n'y a pas de différence significative pour la population jeune entre les deux types d'interaction. Les personnes âgées mettent plus de temps pour l'interaction à base de grille.

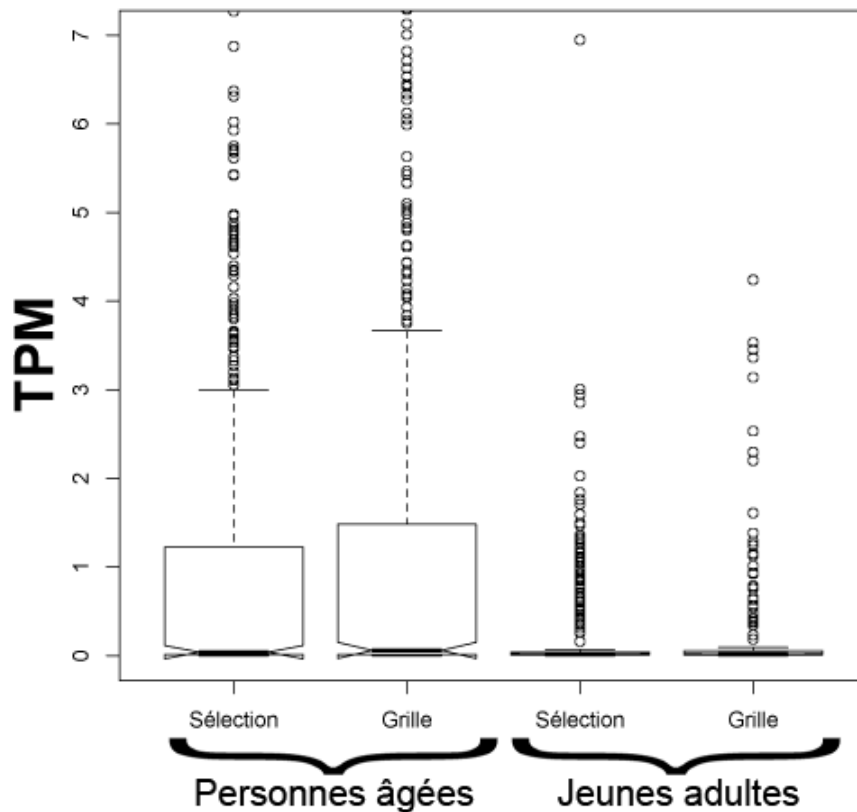


Figure 140 - TPM en secondes en fonction de l'interaction et de la population

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et type d'action (Cf. Figure 141) montre qu'il n'y a pas de différence significative sur le temps de pré mouvement au niveau du type d'action chez les jeunes adultes alors qu'il y en a chez les personnes âgées. Chez celles-ci, les performances au niveau du temps de pré mouvement pour le déplacement sont équivalentes à celles des jeunes adultes. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les personnes âgées ont plus de problèmes de planification et d'action sur des tâches cognitives et motrices complexes. Or, la rotation et le zoom demandent une analyse et une décision supplémentaire au niveau de mouvement à effectuer : de quel côté partir pour la rotation pour limiter le mouvement à faire ; dans quelle direction partir pour agrandir ou diminuer l'objet.

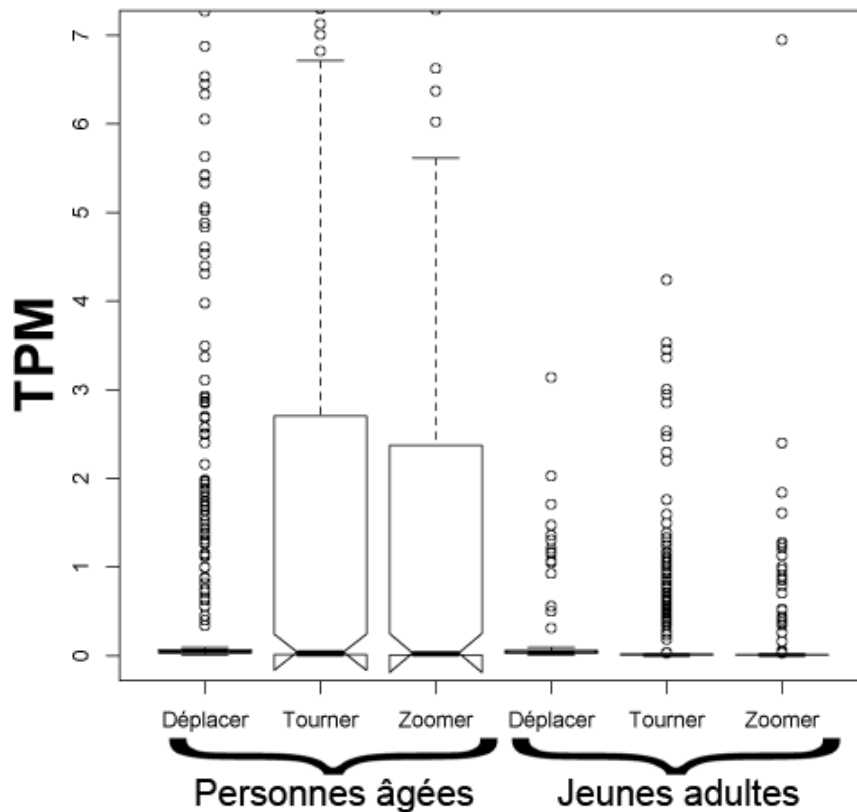


Figure 141 - TPM en secondes en fonction du type d'action et de la population

L'analyse de l'interaction entre les facteurs interaction et type d'action (Cf. Figure 142) montre que les actions de déplacer sont équivalentes quel que soit l'interaction au niveau du TPM. Les actions de déplacer sont plus rapides que les autres actions. L'explication est la même que précisée pour l'analyse de l'interaction entre les facteurs population et type d'action pour le TPM. Pour les actions de tourner et de zoomer, le TPM est légèrement moins élevé pour l'interaction à base de sélection. Nous pouvons supposer que cela est dû au fait qu'il n'y a plus de perturbation visuelle avec l'interaction à base de sélection alors que ce n'est pas le cas pour l'interaction à base de grille.

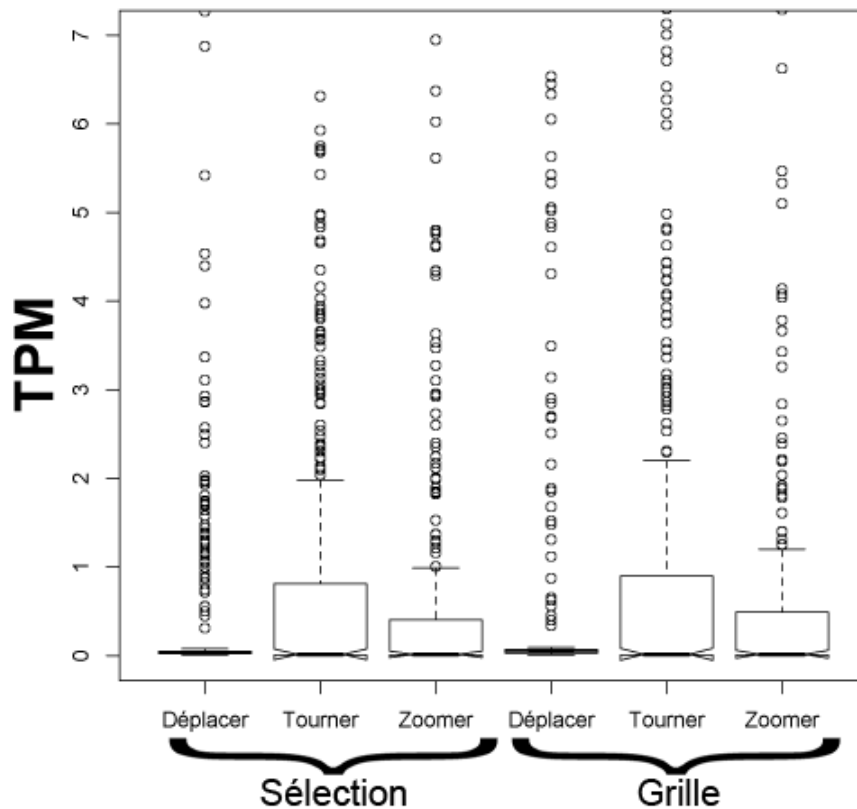


Figure 142 - TPM en secondes en fonction du type d'action et de l'interaction

f) Les courbes d'approche

L'analyse des courbes d'approche de la consigne montre que les personnes âgées ont des comportements différents de ceux des jeunes adultes.

Pour l'action de déplacer (Cf. Figure 143), la stratégie de début du mouvement est très rapide chez les jeunes adultes tandis que celles des personnes âgées est différente : elles commencent à déplacer lentement l'objet puis accélèrent pour atteindre une vitesse régulière par la suite. L'interaction à base de grille chez les personnes âgées montre une courbe moins régulière laquelle représente des saccades de vitesse dans le mouvement. Cette remarque est aussi valable pour les jeunes adultes qui autour de 50% de l'approche, commencent à ralentir et à faire des saccades dans les mouvements d'approche. Nous observons aussi que la stratégie est identique quel que soit l'interaction chez les jeunes adultes.

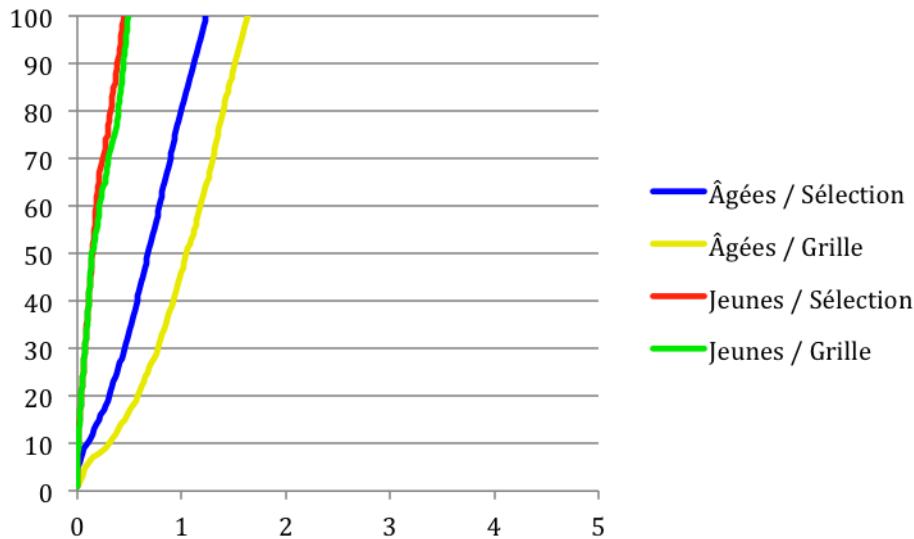


Figure 143 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de déplacer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

Lors de l'utilisation de l'action de tourner (Cf. Figure 144), les utilisateurs ralentissent lorsqu'ils s'approchent de la position de la consigne. Nous le constatons avec les aplatissements de la courbe à l'approche des 100% d'atteinte. Nous remarquons aussi que le début de la décélération est plus précoce chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes. Comme sur la courbe d'approche de l'action de déplacer, les jeunes adultes ont un démarrage rapide. Il est cependant plus lent que celui de l'action de déplacer. Chez les jeunes adultes, jusqu'à 60% du taux d'atteinte de la consigne, le mouvement est identique entre les deux interactions. Au-delà, ils sont plus lents pour l'interaction à base de grille. Pour les saccades, elles sont quasi nulles chez les jeunes adultes. Pour l'interaction à base de sélection, les personnes âgées ont un comportement assez similaire aux sujets jeunes avec une vitesse moindre. Cependant avec l'interaction à base de grille, les personnes âgées ont le même type de départ que pour l'action de déplacer. Ils commencent à déplacer l'objet lentement pour accélérer par la suite. Nous observons aussi des saccades plus importantes dans le mouvement par rapport à l'approche avec l'interaction à base de sélection.

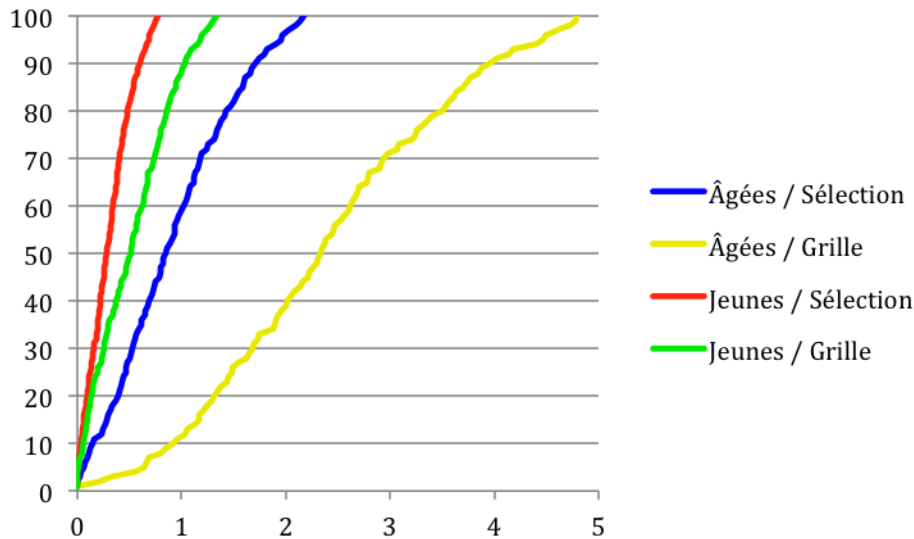


Figure 144 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de tourner pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

Lors de l'utilisation de l'action de zoomer (Cf. Figure 145), nous apercevons un comportement identique au niveau de l'approche entre les jeunes adultes et les personnes âgées : un démarrage rapide pour une réduction de la vitesse en s'approchant de la position de la consigne. La seule différence entre les jeunes adultes et les personnes âgées se joue au niveau de la pente qui est plus aplatie voir très aplatie pour le cas de l'interaction à base de grille pour les personnes âgées. Nous pouvons aussi constater que les personnes âgées avec l'interaction à base de grille ont beaucoup de saccades dans le mouvement.

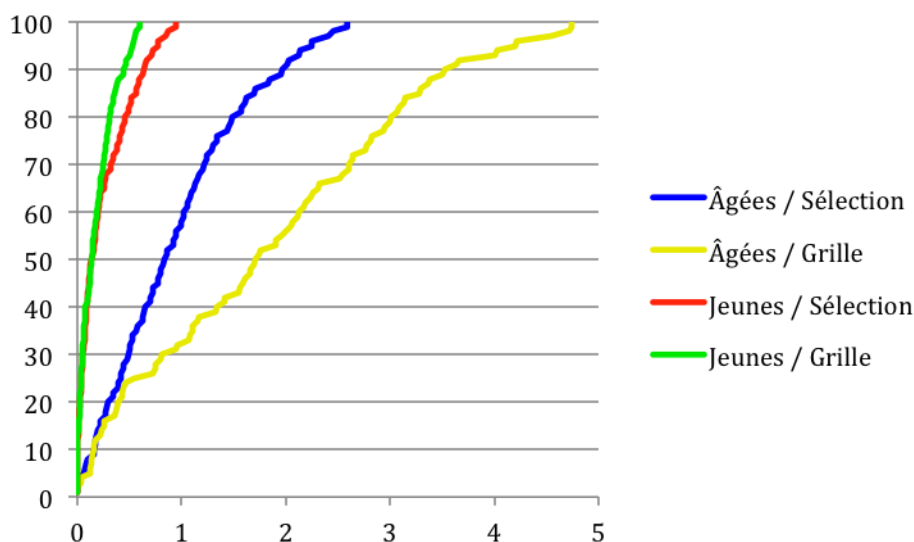


Figure 145 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de zoomer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

5) Discussions

Cette expérimentation avait pour objectif de déterminer quelle interaction était la plus adaptée pour les personnes âgées. Ce qu'il en ressort globalement c'est que l'interaction à base de grille est légèrement plus performante sur le plan quantitatif. Sur le plan qualitatif, les deux types d'interaction sont quasi identiques. Elles ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

Nous remarquons que les personnes âgées préfèrent probablement un environnement facile à maîtriser plutôt qu'une interaction bien faite. Cette interprétation se déduit des préférences de l'interaction où les personnes âgées ont choisi toujours la deuxième interaction avec un environnement forcément mieux maîtrisé après avoir réalisé un test complet.

Au niveau des résultats quantitatifs, nous observons deux comportements complètement différents. D'un côté, pour l'interaction à base de grille, le temps d'analyse n'est pas très élevé. La vitesse d'approche est aussi plus lente probablement à cause de la peur légitime de perdre la case. Alors que pour l'interaction à base de sélection, l'approche est rapide et moins hésitante (moins de saccades), par contre le temps d'analyse avant de démarrer l'action est très important. En effet, une bonne partie des personnes âgées qui ont réalisé le test ont des problèmes lors de la sélection de l'action pour relever le doigt. Ils oublient qu'il faut d'abord sélectionner l'action par un deuxième clic lorsque la lettre apparaît après le premier clic. Nous pouvons considérer que l'appropriation de l'interaction est plus difficile que celle de l'interaction à base de grille.

Nous avons aussi remarqué que le système d'exploitation n'arrive pas à gérer le déplacement fin de l'objet juste après avoir posé le doigt dessus. Il faut un minimum de déplacement pour que l'action se déclenche. Ce comportement non désiré s'explique par l'envoi retardé par le système d'exploitation, des événements de déplacement de la souris sur l'objet. La solution pour corriger cette latence au démarrage n'a pu être trouvée que lors de la réalisation de l'expérimentation du *multitouch*. Les conséquences directes de cette correction sont une réduction des saccades. Nous supposons que l'interaction à base de grille bénéficiera de manière plus avantageuse de cette correction, car nous avons vu qu'elle est plus sujette aux saccades que l'interaction à base de sélection.

Finalement, nous avons choisi l'interaction à base de grille pour la comparaison avec l'interaction *multitouch*. Ceci pour plusieurs raisons :

- les performances quantitatives sont légèrement meilleures : taux de saut de consignes équivalent et rapidité plus importante par rapport à l'interaction à base de sélection ;

- les erreurs de mémorisation ne sont pas pénalisantes ;
- la confusion possible sur les étapes pour réaliser une action n'est pas présente ;
- l'augmentation des performances après correction de la gestion du toucher du système d'exploitation devrait être plus importante avec l'interaction à base de grille qui demande plus de reprises de l'objet ;
- la réalisation de l'action est équivalente au nombre de clic à celui de l'utilisation *multitouch* : ceci permet une comparaison directe plus facile.

E. Le test comparatif de manipulation 1 doigt versus 2 doigts

1) La gestion des événements tactiles

Pour le test précédent, les événements *multitouch* ont été désactivés au niveau du système. En effet, nous avons remarqué, lors des tests du chapitre 2, que lorsque le *multitouch* est activé, les appuis rapides sur l'écran ne sont pas toujours bien transmis ce qui provoque des conditions de test non souhaitées. De plus, pour pouvoir tester la manipulation d'objet avec différents types de périphériques d'interaction, nous avons utilisé les événements souris pour manipuler l'objet. Ce choix d'utilisation de ces événements provoque une activation tardive des événements de déplacement du pointeur sur l'objet.

Avec l'obligation d'activer la gestion du *multitouch* au niveau du système d'exploitation pour pouvoir réaliser le test, le problème précité d'appuis non détectés apparaît de nouveau. Il faut donc trouver une solution pour corriger ce problème. Pour gérer correctement ce problème, un passage des événements souris vers des événements de type « touch » a été obligatoire. Avec cette modification, nous avons pu corriger les problèmes d'appui, mais aussi ceux des événements de déplacement. Il faut donc pour une interaction à base de tactile utiliser obligatoirement les événements de type « touch » pour avoir un comportement correct au niveau des événements.

2) Le protocole du test

Pour le protocole de ce test, nous utilisons la même procédure que pour les autres tests présentés précédemment (Cf. Figure 115). Nous comparons dans cette expérimentation deux interactions qui sont : l'interaction à base de grille présentée plus haut (Cf. Figure 114 et B.2)b)) et qui ressort « gagnante » de l'expérimentation sur le choix d'une interaction à 1 doigt ; et l'interaction à base de *multitouch*.

Pour l'utilisation de l'interaction à base de grille, il est demandé à l'utilisateur de ne se servir que d'un seul doigt à la fois. Tandis que pour l'utilisation de l'interaction à base de *multitouch*, il est demandé à l'utilisateur de se servir de deux doigts sans contrainte spécifique sur les doigts à utiliser, mais par contre ils doivent appartenir à la même main.

Le questionnaire final comporte de nombreuses questions dont une partie est visible dans les annexes. Les autres questions sont au nombre de trois. Elles demandent quelle est

l'interaction entre celle à base de grille et celle à base de *multitouch* que l'utilisateur a trouvée la plus facile, la plus dure et celle qu'il a préférée.

Les deux groupes ont été contre balancés pour neutraliser l'effet d'apprentissage du fonctionnement des interactions.

L'interaction *multitouch* a été cette fois-ci activée.

La variable indépendante est le type d'interaction utilisé.

Les variables dépendantes sont les différents temps présentés dans la partie B.3)c) ainsi que le taux d'erreurs correspondant au nombre d'échecs de la consigne divisé par le nombre de consignes identiques demandées.

Notre hypothèse sur ce test est que l'interaction *multitouch* entraîne plus de problèmes cognitifs et par conséquent réduit les performances de l'interaction. Nous supposons que l'interaction à base de grille est plus performante que l'interaction *multitouch*.

3) Les participants

Douze jeunes adultes de 23 à 33 ans (avec une moyenne de 28,08 ans et un écart type de 3,48) ont participé dans cette expérimentation ainsi que douze personnes âgées de 63 à 89 ans (avec une moyenne de 77,58 ans et un écart type de 7,89) sans déficience cognitive lourde. Cette contrainte a été vérifiée en posant la question à un proche et à la personne elle-même. Pour tous les sujets, les déficiences visuelles sont comblées par le port de lunettes si nécessaire. Les deux populations ont été comparées afin d'étudier l'impact de l'âge sur les performances.

4) Les résultats qualitatifs

L'analyse de l'action la plus facile (Cf. Figure 146) montre que les personnes âgées trouvent plus facile majoritairement, sur l'interaction à base de grille, l'action de déplacer un objet alors que les jeunes adultes ont des avis plus partagés. L'interaction à base de *multitouch* entraîne une augmentation du nombre de réponses favorables en faveur de l'action de déplacer pour les jeunes adultes tandis que pour les personnes âgées les réponses restent relativement stables avec une légère augmentation pour l'interaction de zoomer.

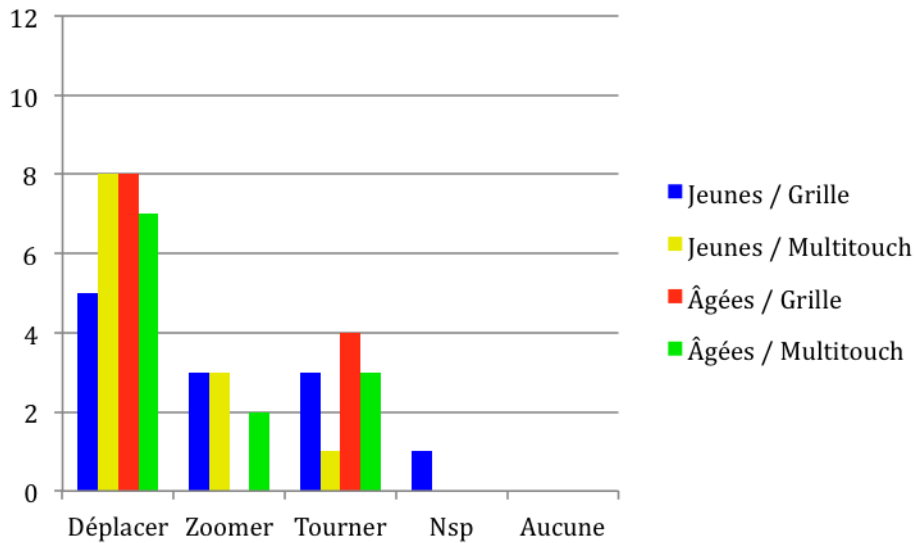


Figure 146 – Répartition des actions considérées comme les plus faciles pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions

L'analyse de l'action la plus dure (Cf. Figure 147) montre que les jeunes adultes trouvent majoritairement, et ce quelle que soit l'interaction, l'action de tourner comme la plus difficile. Quant aux personnes âgées, elles considèrent les actions de zoomer et de tourner comme plus dures avec l'interaction à base de grille. Au niveau de l'interaction *multitouch*, c'est l'action de zoomer qui leur pose encore le plus de problèmes. En observant les personnes âgées pendant les tests, nous avons remarqué que l'action de zoomer est très difficile pour celles qui ont tendance à vouloir faire l'action en une seule fois et qui n'arrivent pas assez à écarter les doigts. Une autre situation observée qui rend ce couple interaction/action difficile est lorsque l'objet a atteint une taille trop petite pour une manipulation aisée avec deux doigts.

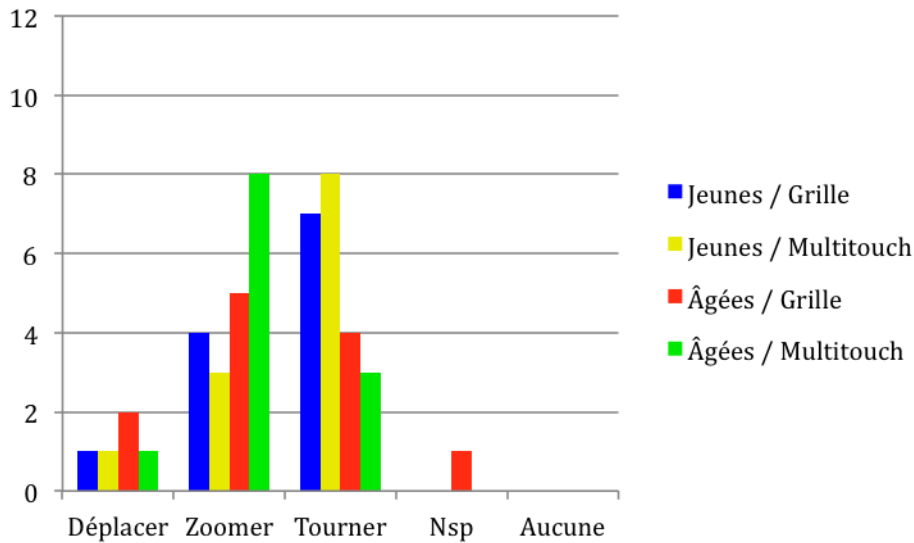


Figure 147 - Répartition des actions considérées comme les plus dures pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions

L'analyse des préférences d'utilisation des actions (Cf. Figure 148) montre que les jeunes adultes préfèrent majoritairement l'action de tourner pour l'interaction à base de grille alors que c'est l'action qui, paradoxalement, remporte le moins de suffrages au niveau de l'interaction *multitouch*. Les personnes âgées, quant à elles, préfèrent l'action de déplacer pour les deux types d'interaction. Pour le *multitouch*, ce dernier choix s'explique par les problèmes rencontrés par une majeure partie des personnes âgées lors de l'utilisation des deux autres actions.

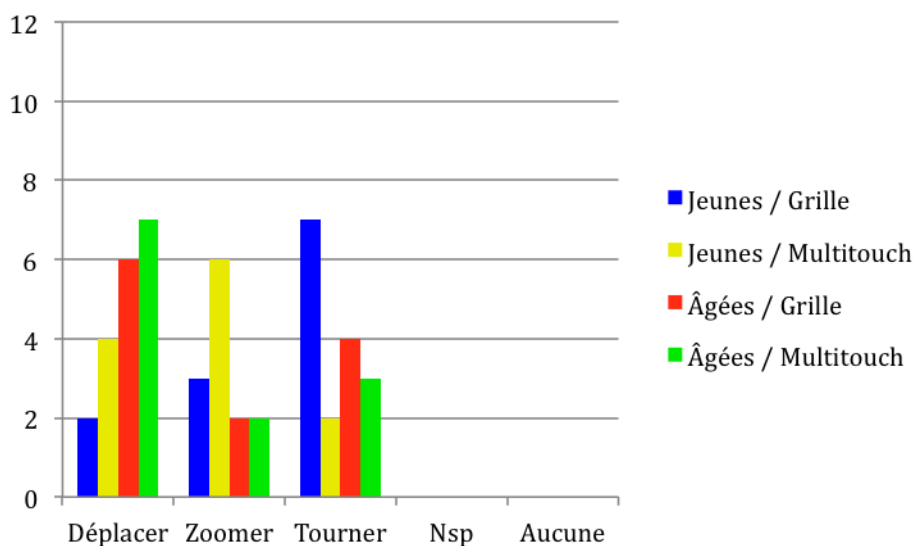


Figure 148 - Répartition des actions considérées comme les préférées pour chacune des deux populations adultes et chacune des deux interactions

Au niveau des préférences de l'interaction (Cf. Figure 149, Figure 150 et Figure 151), nous pouvons observer que l'interaction préférée est la plupart du temps celle qui a été élue comme la plus facile. Quelle que soit la population, la préférence va à l'interaction à base de grille. Nous postulons deux potentielles explications : la complexité de l'interaction avec deux doigts et le manque d'appropriation de l'interaction *multitouch*.

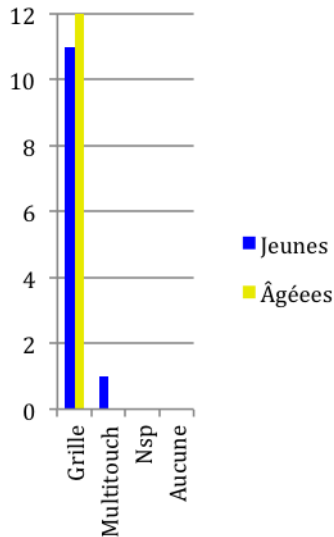


Figure 149 - Choix de l'interaction considérée comme la plus facile pour chacune des deux populations adultes

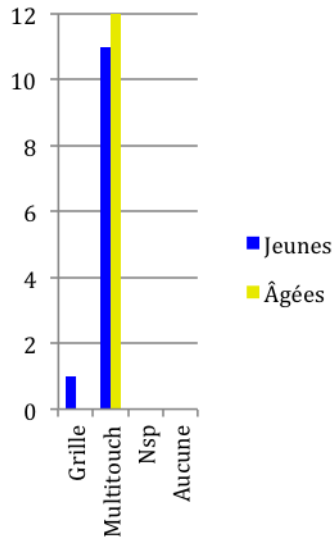


Figure 150 - Choix de l'interaction considérée comme la plus dure pour chacune des deux populations adultes

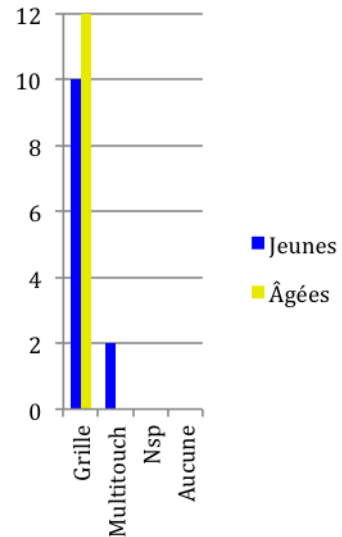


Figure 151 - Choix de l'interaction considérée comme la préférée pour chacune des deux populations adultes

Au niveau de la fatigue visuelle, les personnes âgées ressentent de manière plus accrue de la fatigue que les jeunes adultes, et ce quelle que soit l'interaction. Par conséquent, ce résultat indique que la surcharge visuelle de la grille n'entraîne pas de fatigue supplémentaire pour la durée du test, c'est même plutôt l'inverse. Au niveau de la fatigue motrice, les résultats sont assez différents de ceux observés lors du test de choix de l'interaction à 1 doigt. Les jeunes adultes ressentent toujours une fatigue motrice et celle-ci est légèrement accrue avec l'interaction à base de *multitouch*. L'explication réside dans la vitesse à laquelle elles réalisent le test ; ce qui demande plus d'efforts physiques. De même, une partie importante des personnes âgées ressent de la fatigue motrice avec l'interaction à base de *multitouch*. Nous pensons que cette interaction est pénalisante comparativement à l'interaction à base de grille si la fatigue rentre en compte dans la conception. D'autant plus si elle est le critère majeur à respecter. Pour le certifier, il nous faudrait une population plus importante et des tests de mesure de fatigue pour quantifier ces résultats.

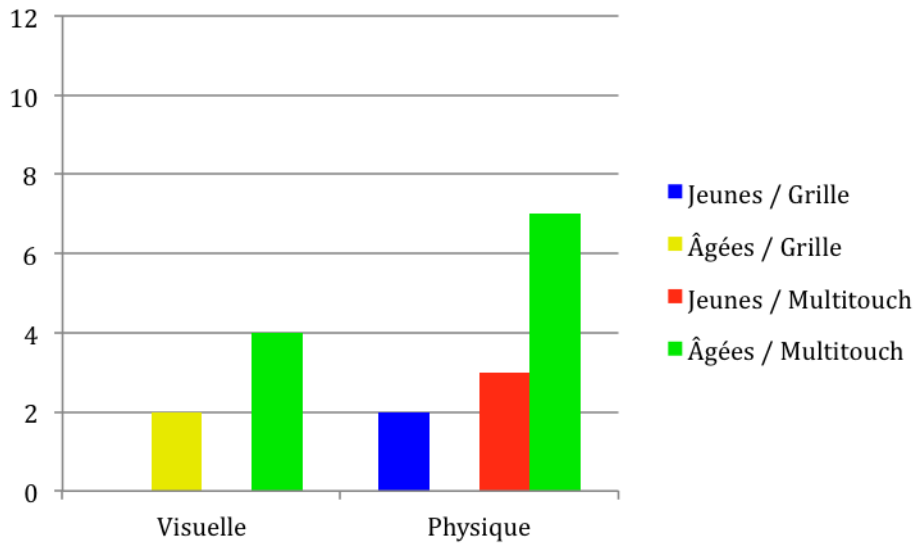


Figure 152 - Nombre de personnes ayant perçu de la fatigue visuelle et motrice pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

Comme pour le test du choix de l'interaction à 1 doigt, la taille des cases est considérée comme acceptable.

Pour la représentation préférée des utilisateurs (Cf. Figure 154), comme pour le test précédent, les lettres sont préférées par les personnes âgées et les symboles à base de graphique sont préférés par les jeunes adultes.

Au niveau des erreurs de mémorisation de la localisation des actions (Cf. Figure 154), comme pour le test précédent (Cf. page 175), chaque erreur est considérée comme majeure ou mineure. Nous pouvons remarquer que quelques personnes âgées ont des erreurs de type mineur, ce qui n'est pas gênant sur le plan de l'interaction. Par contre, une personne n'a pas pu donner de réponses. Lors de la demande de position, elle ne se rappelait de rien. Comme pour le test précédent, cette personne a aussi réalisé le test d'interaction à base de grille en premier ce qui peut très bien expliquer l'oubli.

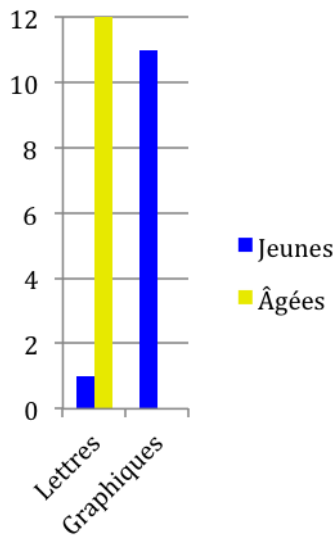


Figure 153 - Préférence de la représentation des actions pour chacune des deux populations adultes

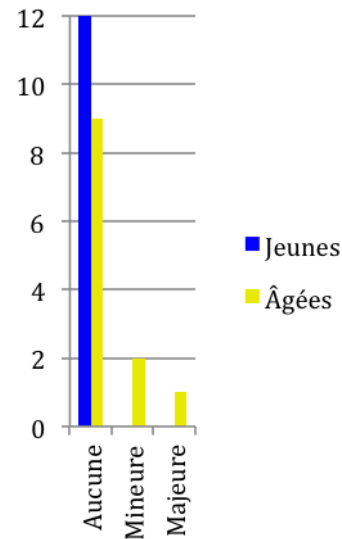


Figure 154 - Nombre d'erreurs de mémorisation de la position des actions pour l'interaction à base de grille pour les deux populations

Au niveau des erreurs de mémorisation des noms des différentes actions, les graphes Figure 155, Figure 156 et Figure 157 montrent que toutes les personnes ont bien mémorisé le nom des actions hormis pour l'action de zoomer. Contrairement au test précédent, les jeunes adultes ont tous utilisé le verbe pour l'action de tourner. Par contre, pour l'action de zoomer, certaines personnes âgées n'ont encore pas mémorisé le mot zoom et ont verbalisé les verbes agrandir et réduire correspondant respectivement aux deux modes de l'action de zoomer. Deux jeunes adultes et une personne âgée ont aussi utilisé le nom « zoom » plutôt que le verbe.

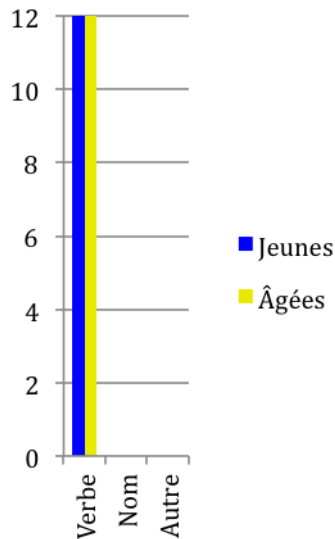


Figure 155 - Dénomination de l'action de déplacer par chacune des deux populations adultes

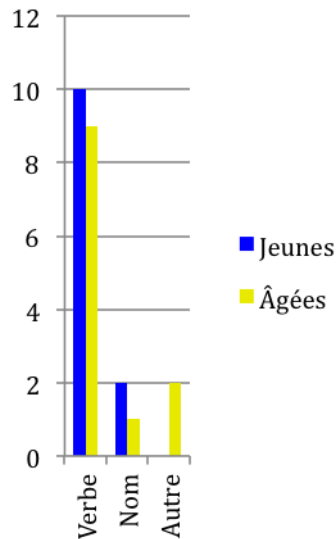


Figure 156 - Dénomination de l'action de zoomer par chacune des deux populations adultes

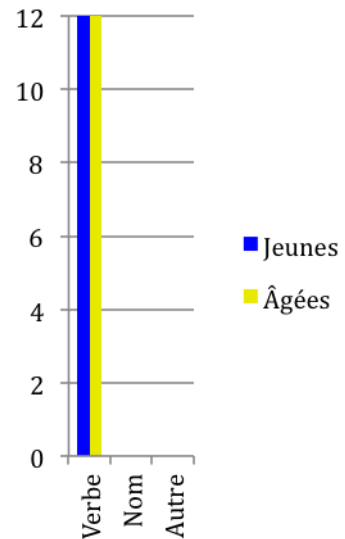


Figure 157 - Dénomination de l'action de tourner par chacune des deux populations adultes

Nous avons aussi observé et demandé aux utilisateurs quels doigts ils ont utilisés pour réaliser le test d'interaction *multitouch*. Cette observation s'est faite sans vidéo, l'expérimentateur notant quels doigts ont été utilisés par la personne durant le test en fonction des actions à réaliser. Nous constatons (Cf. Figure 158, Figure 159 et Figure 160) que le couple index+majeur est utilisé par la majorité des personnes pour l'action de déplacer (83,33% chez les jeunes adultes et 100% chez les personnes âgées). Ce couple de doigts est aussi fortement utilisé pour les actions de tourner et de zoomer. L'utilisation de ces deux doigts peut expliquer les problèmes de performance au niveau des actions zoomer et tourner. En effet, il est plus facile, ergonomiquement parlant, de réaliser ces actions avec le couple index+pouce : la distance entre le pouce et l'index est potentiellement plus grande et l'acte d'attraper et de relâcher un objet (qui s'apparente au zoom) est toujours réaliser avec le pouce et un autre doigt.

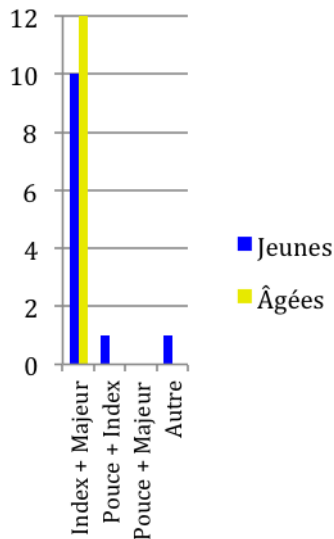


Figure 158 - Doigts utilisés pour l'action de déplacer avec l'interaction *multitouch* pour chacune des deux populations adultes

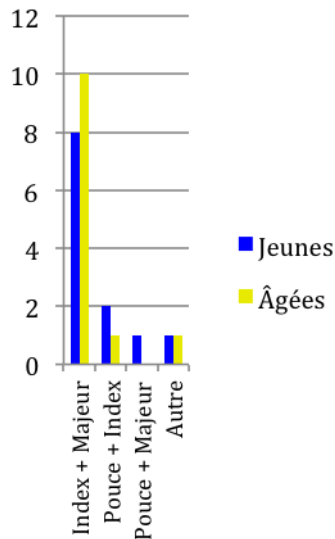


Figure 159 - Doigts utilisés pour l'action de zoomer avec l'interaction *multitouch* pour chacune des deux populations adultes

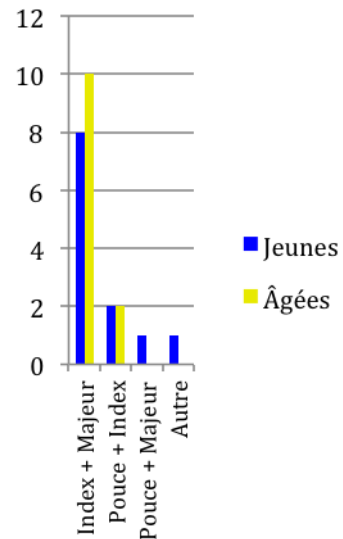


Figure 160 - Doigts utilisés pour l'action de tourner avec l'interaction *multitouch* pour chacune des deux populations adultes

Nous avons voulu savoir s'il est nécessaire de garder affichée les lettres et la grille pour l'interaction à base de grille. Les résultats (Cf. Figure 161 et Figure 162) nous montrent une répartition totalement identique entre les deux populations au niveau de la possibilité de suppression des lettres. Les personnes âgées pensent que c'est moins nécessaire de garder la grille affichée alors que les jeunes adultes trouvent la grille plus importante que les lettres. Ces résultats méritent d'être confirmés ou infirmés sur des populations de sujets plus étendues. Avec la taille de nos populations actuelles, nous ne pouvons pas statuer sur la suppression ou non des lettres et de la grille.

Finalement, nous avons voulu vérifier si l'interaction *multitouch* perdait de son intérêt à cause de son implémentation trop difficile d'utilisation et de la contrainte d'utilisation de deux doigts de la même main. Sur le graphe (Cf. Figure 163), nous observons que malgré des modifications possibles, les jeunes adultes préfèrent l'utilisation de l'interaction à base de grille. Pour les personnes âgées, c'est à quasi l'unanimité que l'interaction à base de grille reste supérieure.

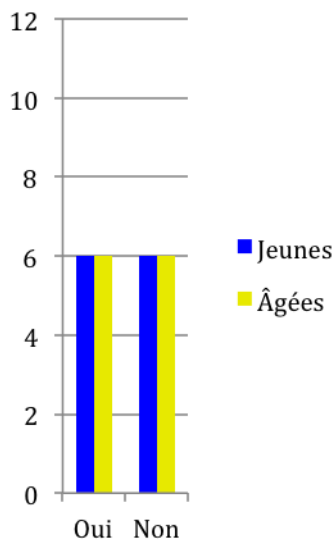


Figure 161 - Avis sur le maintien de l'affichage des lettres pour chacune des deux populations adultes

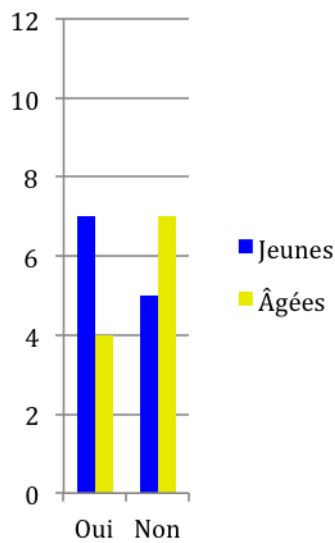


Figure 162 - Avis sur le maintien de l'affichage de la grille pour chacune des deux populations adultes

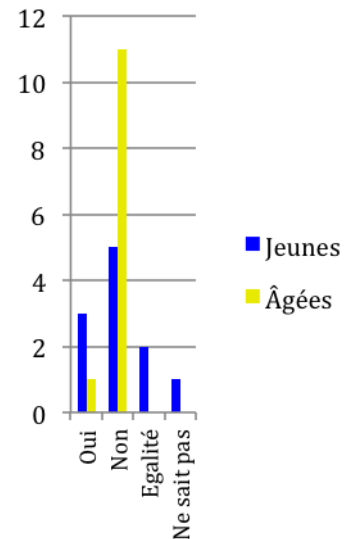


Figure 163 - Avis sur la préférence de l'interaction multitouch si des modifications sont apportées à celle-ci pour chacune des deux populations adultes

5) Les résultats quantitatifs

Pour chaque variable analysée, un test Shapiro et un test de Bartlett ont été réalisés. Si la condition d'homoscédasticité est respectée, une ANOVA a été réalisée, suivie d'un test de TukeyHSD pour comparer les moyennes. Si la condition n'a pas été respectée, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé, suivi d'un test de Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn pour comparer les moyennes.

a) Le Temps Total de Réalisation d'une consigne

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que le type de population ($F(1,2580)=430,95$ et $p<2,2^e-16$), le type d'interaction ($F(1,2580)=105,38$ et $p<2,2^e-16$) et le type d'action ($F(2,2580)=11,97$ et $p=6,7^e-06$) ont des différences significatives.

Il existe deux interactions : une entre le type d'action et le type de population ($F(2,2580)=11,92$ et $p=7,01^e-6$) ; et une entre le type d'interaction et le type de population ($F(1,2580)=75,56$ et $p<2,2^e-16$). Deux tendances existent : une entre le type d'action et le type d'interaction ($F(2,2580)=2,98$ et $p=5,09$) ; et une entre les trois facteurs ($F(2,2580)=2,59$ et $p=7,56^e-2$).

L'analyse de l'interaction entre le type d'action et le type de population (Cf. Figure 164) montre que les types d'actions ont des temps de réalisation de la consigne croissants chez les personnes âgées contrairement aux jeunes adultes chez lesquels aucune action ne se démarque. Les personnes âgées sont aussi plus lentes quelle que soit l'action.

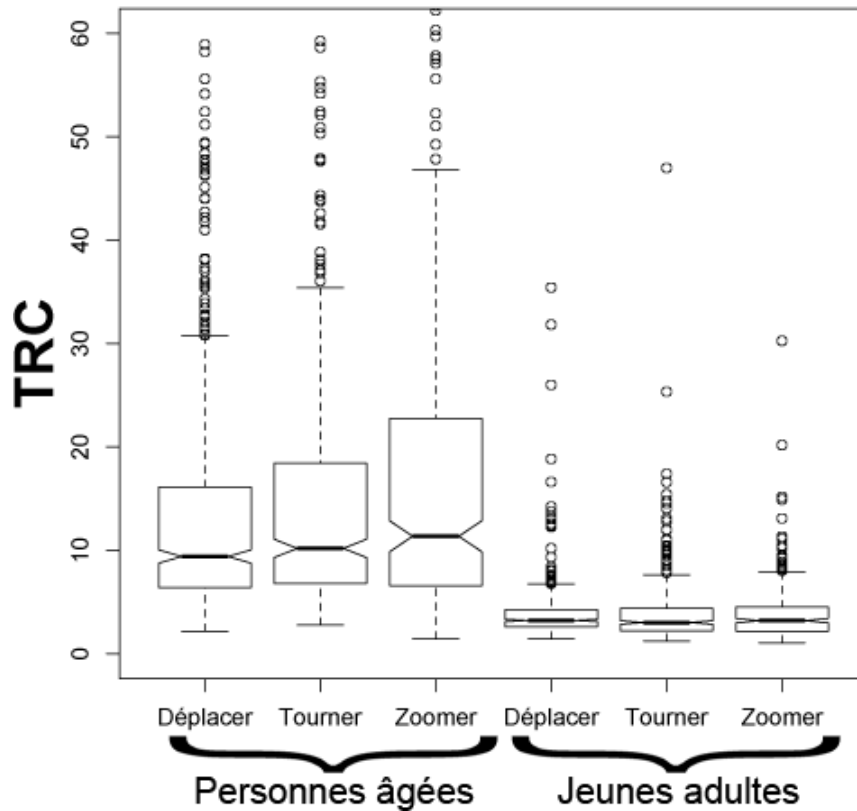


Figure 164 - TRC en secondes en fonction du type d'action et du type de population

L'analyse de l'interaction entre le type d'interaction et le type de population (Cf. Figure 165) montre que l'interaction à base de *multitouch* est très pénalisante comparativement à l'interaction à base de grille pour les personnes âgées alors qu'elle l'est moindre pour les jeunes adultes même si elle le demeure.

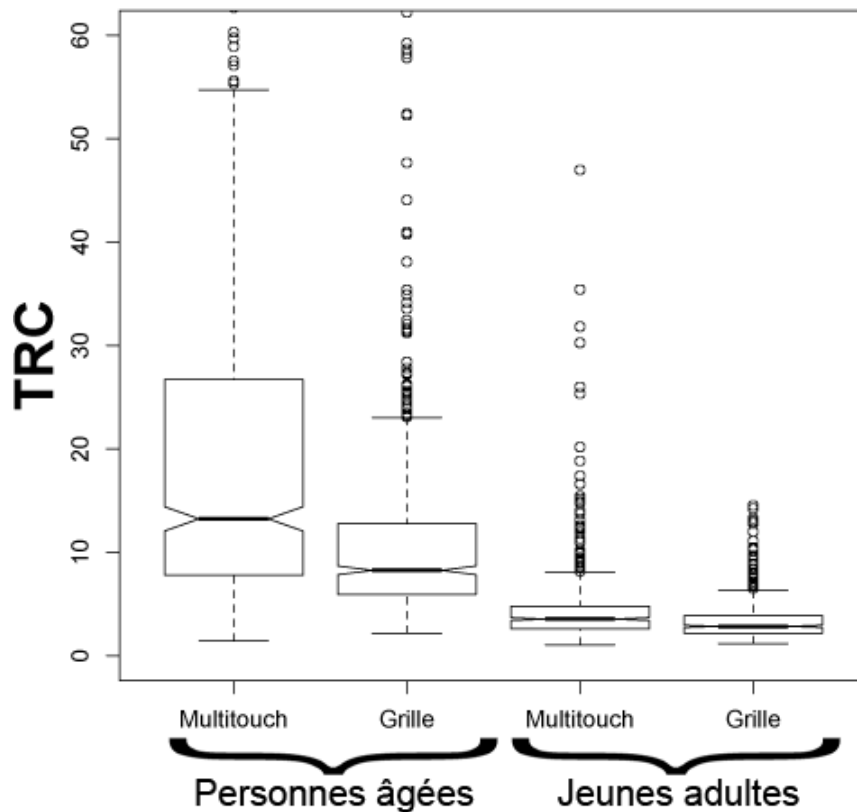


Figure 165 - TRC en secondes en fonction du type d'interaction et du type de population

b) Le Temps d'Analyse

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que la population ($F(1,2580)=246,14$ et $p<2,2^{-16}$), l'interaction ($F(1,2580)=39,98$ et $p=3,02^{-10}$) et le type d'action ($F(2,2580)=9,49$ et $p=7,8^{-05}$) ont des différences significatives.

Il existe deux interactions, une interaction entre les facteurs population et interaction ($F(1,2580)=15,85$ et $p=7,03^{-05}$) et une interaction entre les facteurs population et type d'action ($F(2,2580)=5,44$ et $p=4,37^{-03}$).

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et interaction (Cf. Figure 166) montre que la différence entre les deux interactions pour le temps d'analyse est beaucoup moins importante chez les jeunes adultes que chez les personnes âgées. L'interaction à base de *multitouch* est plus lente pour le temps d'analyse quelle que soit la population. Une explication de ce résultat peut être que le rappel visuel de l'interaction à base de grille peut aider au niveau du rappel de l'interaction à effectuer.

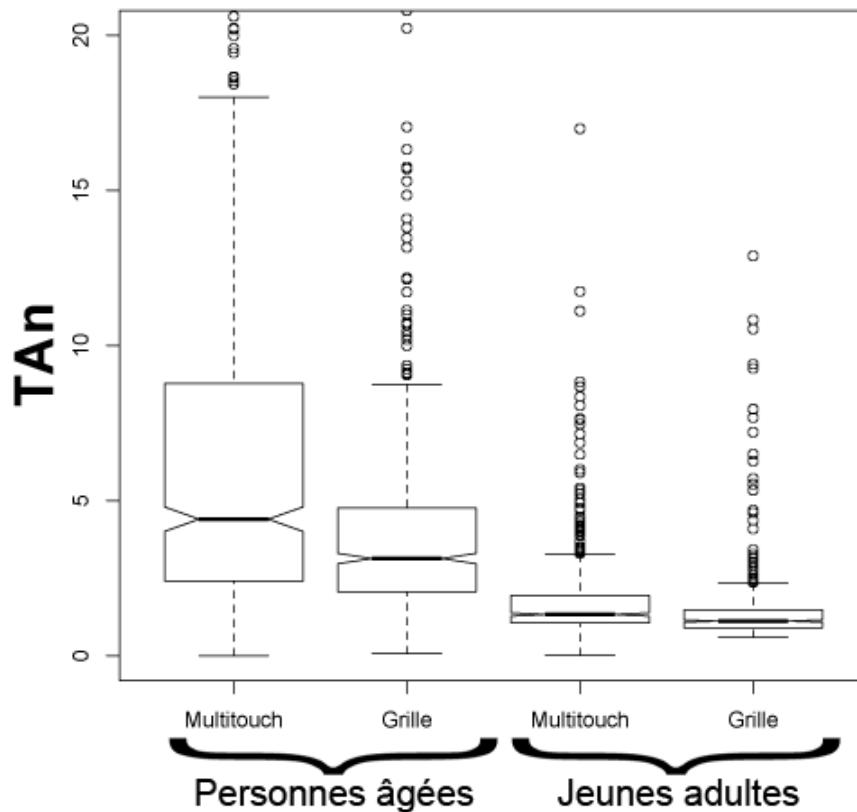


Figure 166 - TAn en secondes en fonction de l'interaction et du type de population

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et type d'action (Cf. Figure 167) montre que le temps d'analyse de l'action de déplacer est plus rapide que pour les autres actions et ce quelle que soit la population. Ce résultat paraît normal au regard de la charge cognitive moins importante de cette action par rapport aux deux autres. Par contre, les jeunes adultes ont un temps d'analyse pour l'action de tourner légèrement plus important que celui de l'action de zoomer alors que pour les personnes âgées ce temps est équivalent.

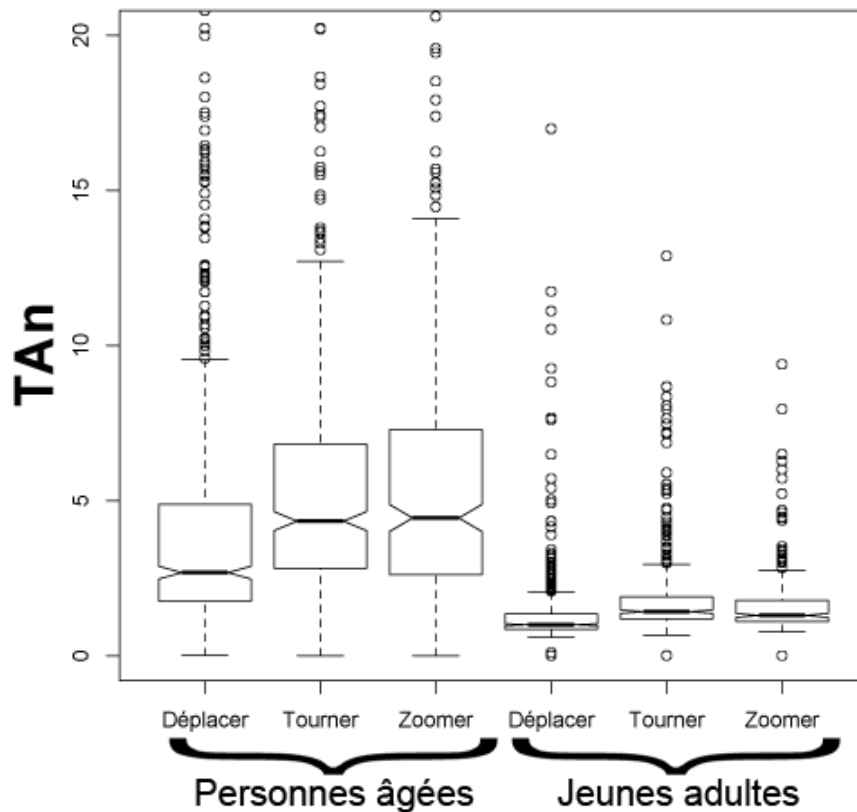


Figure 167 - TAN en secondes en fonction du type d'action et de la population

c) *Le Temps d'Approche*

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action sur le temps d'approche montre que tous les facteurs ont des différences significatives : $F(1,2580)=201,29$ et $p<2,2^{\circ}-16$ pour le facteur population ; $F(1,2580)=45,64$ et $p=1,75^{\circ}-11$ pour le facteur interaction et $F(2,2580)=46,96$ et $p<2,2^{\circ}-16$ pour le facteur type d'action. Tous les facteurs interviennent dans une interaction. La triple interaction est significative $F(2,2580)=9,76$ et $p=6,0^{\circ}-05$.

L'analyse de l'interaction entre les trois facteurs (Cf. Figure 168) montre que le comportement pour les différents types d'action dans l'approche de la consigne pour chaque couple population/interaction est identique. L'action de déplacer est la plus rapide, suivie de l'action de zoomer et enfin de l'action de tourner. Le passage de l'interaction à base de grille à l'interaction *multitouch* chez les personnes âgées n'a engendré qu'une légère perte de performance avec les actions de déplacer et de zoomer alors que pour l'action de tourner les performances se dégradent très fortement. Cette observation s'explique par les problèmes qu'ont eus les personnes âgées lors de l'action de tourner avec le *multitouch*. En effet, ceux-ci

ont eu tendance à tourner le doigt sur lui-même au lieu de tourner les doigts l'un par rapport à l'autre. Ce qui pour l'écran se traduit par un non-mouvement vu que les doigts ne bougent pas de place.

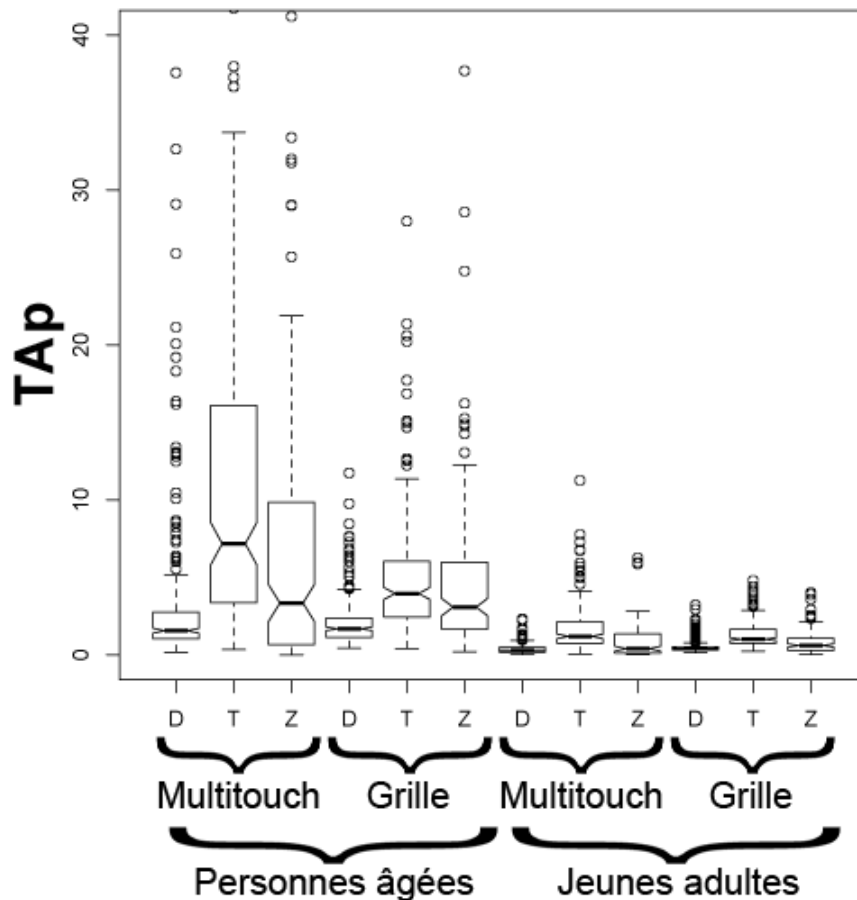


Figure 168 - TAp en secondes en fonction du type d'action, de l'interaction et de la population

d) Le Temps de Stabilisation

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que la population ($F(1,2580)=161,49$ et $p<2,2^e-16$) l'interaction ($F(1,2580)=62,01$ et $p=4,98^e-15$) et le type d'action ($F(2,2580)=51,79$ et $p<2,2^e-16$) ont des différences significatives. Une interaction existe entre tous les facteurs ($F(2,2580)=4,1$ et $p=1,68^e-02$).

L'analyse de l'interaction entre les facteurs (Cf. Figure 169) montre que le temps de stabilisation est équivalent entre les jeunes adultes et les personnes âgées : la stabilisation avec l'action de déplacer est plus longue que les autres actions, et cela quelle que soit l'interaction. Le TS pour l'action de tourner est négligeable ou quasi nul quelle que soit la population et l'interaction. Par contre, le TS de l'action de zoomer, quelle que soit la population, est plus long avec l'interaction *multitouch*. Ce résultat peut s'expliquer par la difficulté à attraper un objet quand il est très petit.

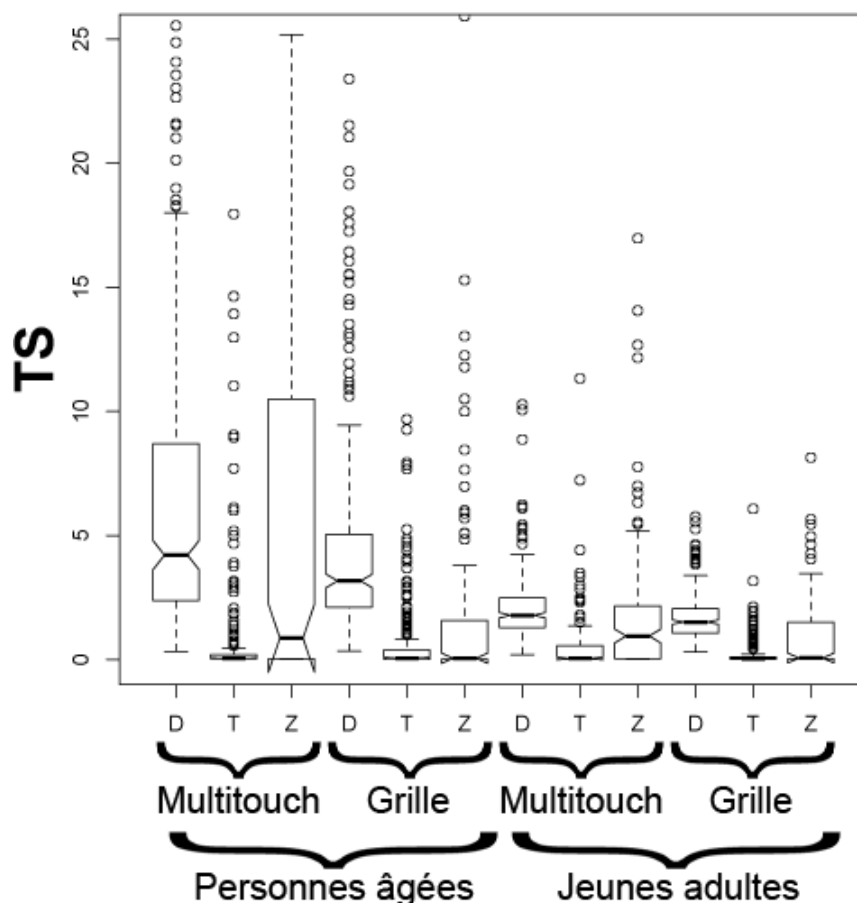


Figure 169 - TS en secondes en fonction du type d'action, de l'interaction et de la population

e) *Le Temps de Pré Mouvement*

L'analyse ANOVA des facteurs population, interaction et type d'action montre que tous les facteurs ont des différences significatives pour la population $F(1,2580)=83,95$ et $p<2,2^e-16$, et pour le type d'action $F(2,2580)=30,78$ et $p=6,18^e-14$. Il existe une tendance pour l'interaction ($F(1,2580)=3,8$ et $p=5,13^e-02$). Deux interactions sont présentes : une interaction entre le facteur population et le facteur interaction ($F(1,2580)=4,96$ et $p=2,61^e-02$) et une interaction entre les facteurs population et type d'action ($F(2,2580)=28,04$ et $p=8,94^e-13$). Des tendances existent pour : l'interaction entre le type d'action et l'interaction ($F(2,2580)=2,54$ et $p=7,94^e-02$) et l'interaction entre les trois facteurs ($F(2,2580)=2,56$ et $p=7,78^e-02$).

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et interaction (Cf. Figure 170) montre que pour les jeunes adultes, il n'y a pas de différence entre les deux types d'interaction. Nous constatons également que les personnes âgées mettent plus de temps pour l'interaction à base de grille et observons une grande variabilité pour celle-ci.

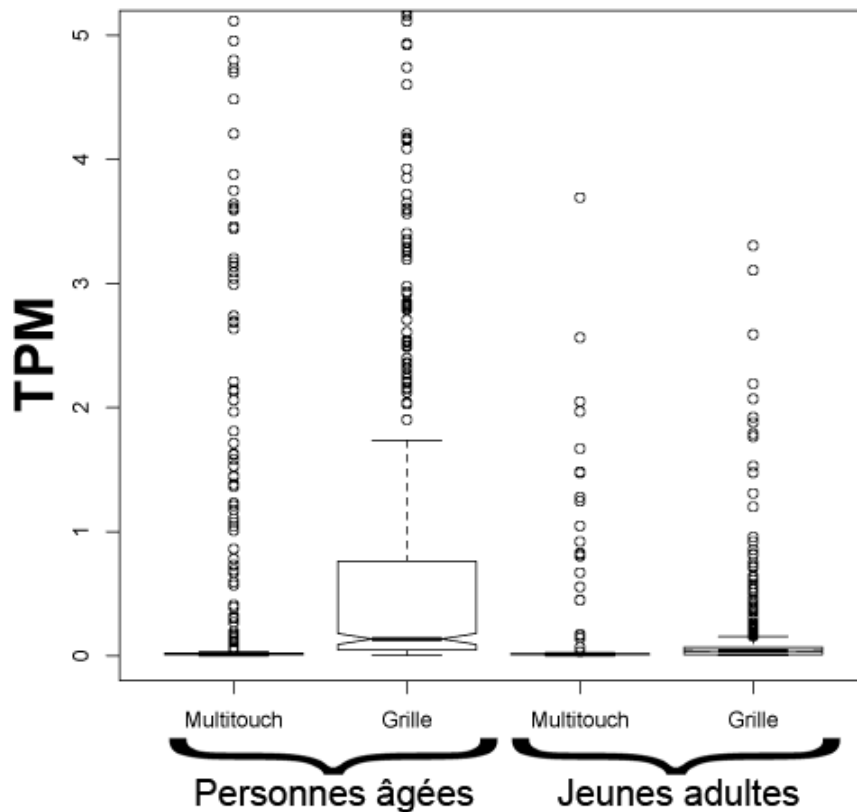


Figure 170 - TPM en secondes en fonction de l'interaction et de la population

L'analyse de l'interaction entre les facteurs population et type d'action (Cf. Figure 171) montre qu'il n'y a pas de différence pour les jeunes adultes sur le temps de pré mouvement au niveau du type d'action alors que les personnes âgées distinguent chaque type d'action. Chez les personnes âgées, les performances au niveau du temps de pré mouvement pour le déplacement sont équivalentes à celles des jeunes adultes. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les personnes âgées ont plus de problèmes de coordination sur des tâches cognitives complexes. Or, la rotation et le zoom demandent une analyse et une planification du mouvement à effectuer supplémentaire au niveau de mouvement : de quel côté partir pour la rotation pour limiter le mouvement à faire ; dans quelle direction partir pour agrandir ou diminuer l'objet.

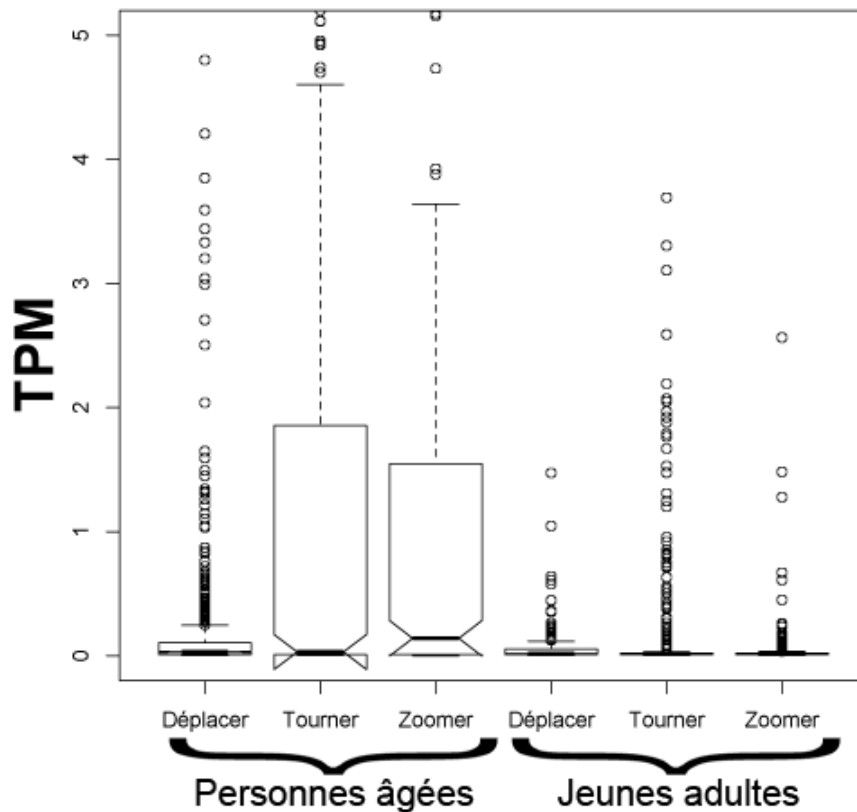


Figure 171 - TPM en secondes en fonction du type d'action et de la population

f) Les courbes d'approche

L'analyse des courbes d'approche de la consigne montre que les personnes âgées ont des comportements différents des jeunes adultes.

Lors de l'utilisation de l'action de déplacer (Cf. Figure 172), la phase de début du mouvement est très rapide chez les jeunes adultes tandis que les personnes âgées commencent à déplacer lentement l'objet puis après accélèrent. La vitesse est très irrégulière pour les personnes âgées avec l'interaction *multitouch*. Cette courbe moyenne s'explique par les nombreux relâchements d'appui qu'ils ont fait durant les tests.

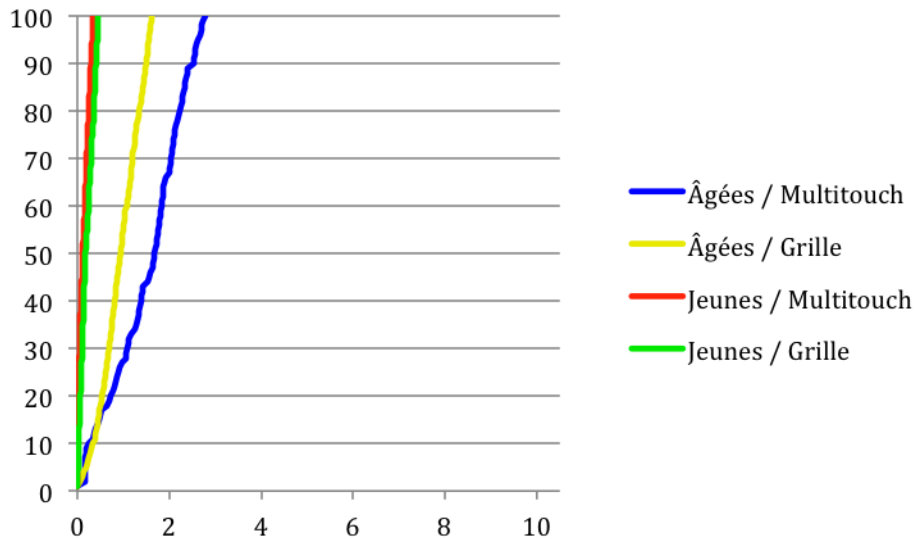


Figure 172 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de déplacer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

Lors de l'utilisation de l'action de tourner (Cf. Figure 173), les utilisateurs ralentissent lorsqu'ils s'approchent de la position de la consigne. Quelle que soit l'interaction, les jeunes adultes ont un comportement similaire. Avec l'interaction à base de grille, les personnes âgées ont le même type de départ que pour l'action de déplacer. Ils commencent à déplacer l'objet lentement pour accélérer par la suite. La courbe d'approche est assez proche de celle des jeunes adultes si ce n'est l'augmentation du décalage dans le temps. Pour l'interaction à base de *multitouch*, les personnes âgées ont par contre une vitesse quasi constante tout le long de l'interaction, mais avec beaucoup de saccades qui peuvent s'expliquer par la difficulté à bien planifier le bon mouvement pour réaliser l'action de tourner.

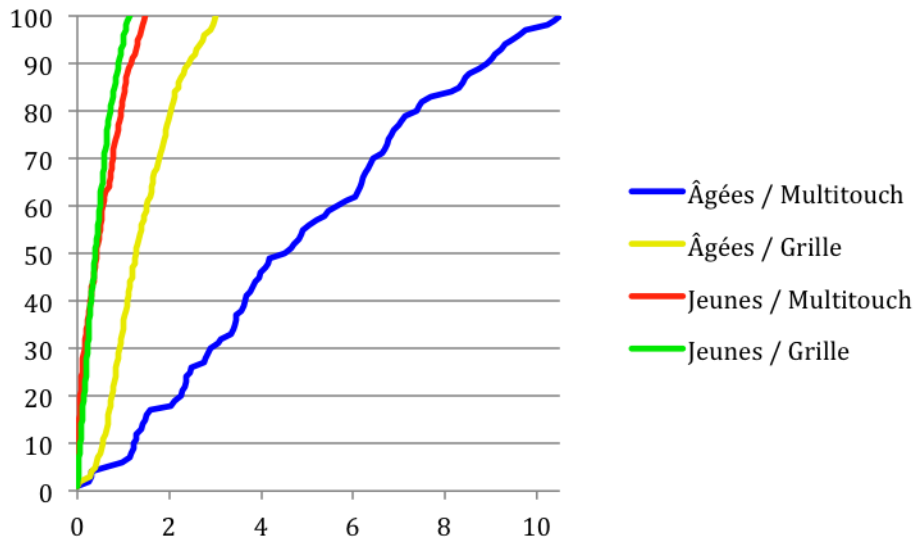


Figure 173 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de tourner pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

Lors de l'utilisation de l'action de zoomer (Cf. Figure 174), les approches entre les deux populations sont très différentes. Les jeunes adultes ont quasi la même approche quelle que soit l'interaction. Pour les personnes âgées, nous observons une approche totalement différente des jeunes adultes. L'interaction à base de grille est beaucoup plus rapide qu'avec le *multitouch* mais reste proche dans son approche. Celle-ci est constituée de deux phases de quasi-arrêt autour de 45% et 95%. Ces phases s'expliquent par le fait qu'ils ont tendance à persister pour écarter ou rapprocher les doigts alors que ce n'est plus physiquement possible.

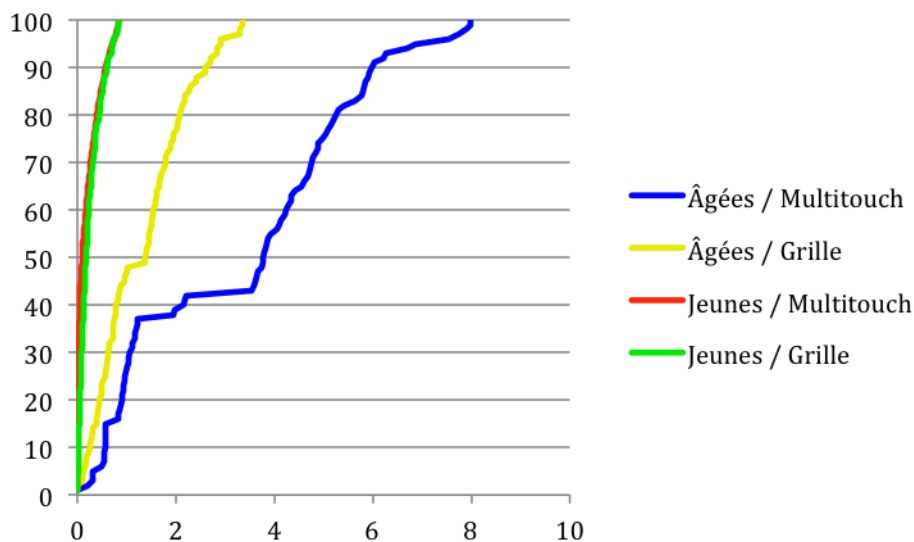


Figure 174 - Courbes d'approche de la consigne en pourcentage en fonction du temps en secondes pour l'action de zoomer pour chacune des deux populations adultes et des deux interactions

6) Discussions

a) La fatigue

Tout d'abord, nous pouvons remarquer que les personnes âgées ressentent plus de fatigue visuelle que les jeunes adultes. En analysant plus finement celle-ci, nous pouvons voir que les personnes âgées qui sont fatiguées visuellement sur la grille ont déjà fait le test avec l'interaction *multitouch* avant. Pour la fatigue visuelle sur l'interaction *multitouch*, trois d'entre elles ont commencé par cette interaction et seulement une seule est encore fatiguée visuellement lors du test de l'interaction à base de grille. Nous pouvons en conclure que l'interaction *multitouch* entraîne plus de fatigue visuelle chez les personnes âgées. Une explication plausible peut être le fait d'utiliser deux doigts. En effet, l'utilisation de deux doigts entraîne forcément une surface cachée par la main plus importante et donc demande une concentration visuelle plus importante pour deviner la forme sous la surface cachée.

Pour la fatigue motrice, les comportements sont assez différents. Comme pour le test permettant de choisir l'interaction 1D à utiliser, les personnes âgées ne se sentent pas fatiguer avec l'interaction à base de grille tandis qu'une partie des jeunes adultes le sont. Nous supposons que les personnes âgées essayent d'économiser les gestes et prennent plus de temps pour réaliser leurs actions. Pour l'interaction *multitouch*, le ressenti change. Les personnes âgées sont plus fatiguées que les jeunes adultes. Ce constat peut s'expliquer par le fait que cette interaction demande un temps de manipulation plus important pour la manipulation de l'objet. Cette augmentation du temps augmente la demande en force physique et du coup les stratégies d'économie d'efforts ne sont plus suffisantes pour compenser. Il serait intéressant d'étudier la fatigue en réalisant le test sur plusieurs jours pour voir si une meilleure maîtrise de l'interaction *multitouch* entraîne une réduction de celle-ci. Nous pouvons supposer que la fatigue des personnes âgées diminuera avec une meilleure expérience de l'interaction grâce à une économie dans les gestes inutiles réalisés. Nous pouvons citer l'exemple des problèmes lors de la rotation : une partie des personnes âgées a tendance à tourner les doigts sur eux-mêmes ce qui pour la dalle tactile s'apparente à un non-mouvement vu que les doigts ne bougent pas.

b) Le comportement lors de l'interaction

Tout d'abord, nous pouvons voir que l'interaction *multitouch* est moins performante sur le Temps de Réalisation de la Consigne. En analysant les différentes phases de la réalisation d'une consigne, nous pouvons voir que c'est le Temps d'Analyse et le Temps de Stabilisation

qui expliquent ce comportement. Le Temps d'Approche est assez semblable pour les deux interactions à l'exception de l'action de tourner pour l'interaction *multitouch* chez les personnes âgées. Cette interaction pose de gros problèmes au niveau de la compréhension du geste à effectuer. L'explication est un mouvement non adapté : les doigts tournent sur place alors qu'ils devraient tourner l'un par rapport à l'autre et ne pas rester statiques.

Au niveau du Temps d'Analyse, il est intéressant de remarquer que l'action de déplacer demande moins de temps d'analyse. Ceci est explicable par le fait que cette action demande moins de charges cognitives. Pour les actions de zoomer et de tourner, une étape d'analyse supplémentaire est demandée : le choix de la direction à prendre pour réduire le déplacement pour la rotation; le choix entre les deux notions associées au zoom : la réduction et l'agrandissement. Chez les jeunes adultes, le problème de l'action de zoomer est moins problématique que chez les personnes âgées. L'explication la plus probable est que les jeunes adultes sont plus accoutumés à la notion de zoom, alors qu'une partie des personnes âgées ne connaissaient même pas le signification de ce mot avant de faire le test. Il est donc peut-être nécessaire de séparer les deux sous actions du zoom pour les personnes âgées. Il faut quand même relativiser ce résultat, la notion de zoom est de plus en plus connue par la démocratisation des zooms sur les appareils photo et de moins en moins de personnes ne connaissent pas ce terme.

Pour les courbes d'approches relatives aux Temps d'Approche et de Stabilisation, nous pouvons confirmer que la vitesse de déplacement de l'objet chez les personnes âgées est plus lente. Ce résultat est à comparer à ceux de [Warabi et al., 1986], [Spirduso et Choi, 1993] et [Wood et al., 2005] : il confirme bien une lenteur plus importante chez les personnes âgées. Ce que nous pouvons aussi remarquer, c'est que les personnes âgées ont globalement un comportement identique sur l'approche en fonction des actions. Par contre, elles commencent le mouvement avec une phase d'accélération assez longue pour se stabiliser au niveau de la vitesse. La phase de décélération est aussi plus longue et confirme les résultats de [Roy et al., 1996]. Nous pouvons voir aussi que les courbes des personnes âgées pour l'interaction *multitouch* subissent de fortes variations de vitesse. L'explication la plus probable est un nombre de sous mouvements beaucoup plus importants. En effet, de nombreuses phases de prise et de relâchement d'objet ont été observées pour l'interaction *multitouch* chez les personnes âgées. Le dernier comportement intéressant est sur l'action de zoomer. Les personnes âgées ont des « pauses » sur la courbe d'approche. L'action est découpée en deux parties par une zone où la vitesse est quasi nulle. L'explication commune pour les deux interactions est une pause dans le parcours pour analyser le trajet restant à faire. Cependant,

pour l'interaction à base de *multitouch* se rajoute un problème physiologique rattaché à leur stratégie d'utilisation de l'interaction. Les personnes âgées essayent au maximum de réaliser l'action en 1 seul geste. Elles évitent de relâcher les doigts de la surface tactile, ce qui a pour effet que l'écartement des doigts est à un moment bloquant. Cette attitude est équivalente à faire du quasi-sur place au niveau de la manipulation. Obligeant par la suite les personnes âgées à relâcher les doigts alors qu'elles auraient pu le faire plus tôt. Il est à prévoir qu'avec une meilleure maîtrise de l'interaction, la « pause » en vitesse sera plus courte. Nous pouvons supposer que les personnes âgées ne veulent pas ressentir une situation d'échec et qu'elles considèrent le fait de ne pas réussir l'action en une seule fois comme un échec. Il faut donc éviter ce type de situation pour avoir une bonne interaction.

c) Les préférences

Au niveau des préférences des types d'actions, les personnes âgées préfèrent l'action de déplacer d'autant plus pour l'interaction *multitouch*. Chez les personnes âgées, l'interaction préférée correspond souvent à l'interaction la plus facile a contrario des jeunes adultes. En effet, pour les jeunes adultes, la difficulté plus importante au niveau de la coordination des doigts ne pénalise pas leur préférence. En analysant les résultats quantitatifs du TRC, nous pouvons faire correspondre ces choix. En effet, les personnes âgées sont plus performantes avec l'action de déplacer. A contrario, les performances pénalisent moins les jeunes adultes, ce qui peut expliquer cette différence de choix entre l'action la plus facile et la préférée.

Au niveau des préférences de l'interaction, le choix est unanime chez les personnes âgées et quasi pour tous les jeunes adultes : l'interaction à base de grille est préférable et plus facile à utiliser que l'interaction *multitouch*. Ce résultat est confirmé pour les personnes âgées et une partie des jeunes adultes lorsqu'il leur est demandé si l'utilisation de deux mains plutôt qu'une seule leur fait changer d'avis. Les résultats quantitatifs corroborent les résultats qualitatifs : le Temps Total de Réalisation d'une Consigne est plus long pour l'interaction *multitouch* que pour l'interaction à base de grille quelle que soit la population.

Comme pour le test permettant de choisir l'interaction 1D, les personnes âgées préfèrent toutes une représentation par lettre pour les actions, à l'opposé des jeunes adultes qui eux préfèrent une représentation graphique. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence. Tout d'abord, les personnes âgées sont dans l'ensemble meilleures au niveau du rappel de mots lorsqu'elles ne sont pas limitées par le temps [Burke et al., 1991]. A contrario, lors du remplissage du questionnaire, beaucoup pensent qu'une représentation graphique ne pourra pas bien retranscrire l'action. Le plus important pour elles reste une explication de chaque

action. Une fois ces actions expliquées et à quelle lettre elles correspondent, elles n'ont plus de problèmes d'interprétation possible : les lettres ne sont pas ambiguës sur leur valeur.

Les doigts les plus utilisés sont le couple index+majeur. L'utilisation des doigts change un peu plus pour la rotation et le zoom, mais c'est toujours le couple précité qui prédomine dans l'utilisation. Certaines personnes ont des stratégies différentes en fonction de la précision nécessaire. Par exemple, certains utilisent un doigt en pivot quand ils ont besoin de précision. D'autres vont changer de couple de doigts lorsqu'ils ont besoin de plus précision. Il serait donc intéressant d'analyser les stratégies d'utilisation des doigts pour pallier les problèmes de précision. De la même manière, il serait intéressant de voir le comportement d'utilisation avec l'utilisation d'un doigt dans chaque main plutôt que deux doigts d'une main.

d) La mémorisation

Au niveau de la mémorisation des positions des actions pour l'interaction à base de grille, nous voyons que les personnes âgées se débrouillent très bien lors de la réalisation du test. Il arrive que seulement certaines cases de la grille soient utilisées entraînant un oubli de certaines, mais ceci n'est pas pénalisant. C'est donc intéressant de faire de la redondance d'informations. Par contre, nous pouvons voir que la mémoire de travail est impactée chez les personnes âgées. En effet, pour chacun des tests de manipulation, une seule personne âgée n'a pas réussi à se rappeler de la position des lettres si elle a réalisé un autre test après celui à base de grille.

Pour la dénomination des actions, nous voyons que seule l'action de zoomer pose problème. Ceci est d'autant vrai plus pour les personnes âgées, chez qui pour certaines, le terme « zoom » n'est pas connu. Elles préfèrent, par exemple, avoir une combinaison de lettres du style : À/R pour Agrandir/Réduire que la lettre Z pour Zoomer. Il faut donc faire très attention aux mots/labels employés suivant le public visé.

Au niveau du maintien des lettres et de la grille pour l'interaction à base de grille, quelques variations existent dans les avis entre le test permettant de choisir l'interaction 1D et celui permettant de comparer le *multitouch*. Cependant, que cela soit pour les jeunes adultes ou pour les personnes âgées, les avis sont indécis. Il serait intéressant de tester les différentes combinaisons de présence ou non des lettres et de la grille pour voir la différence de performances et le nombre de clics sur une action non conforme à celle demandée. À partir de ces résultats, nous pourrions vérifier si les avis concordent bien aux performances quantitatives.

F.Conclusions

Cette expérimentation nous a permis de définir des recommandations de conception qui portent sur différents points :

- le *multitouch* n'est pas une interaction conseillée pour les personnes âgées. Il vaut mieux utiliser une interaction qui limite le nombre de doigts à un seul ;
- les personnes âgées préfèrent l'interaction la plus facile. Il faut donc vérifier que l'interaction choisie est la plus facile d'accès ;
- pour optimiser la prise en main d'une nouvelle interaction, il faut éviter d'avoir des interactions qui nécessitent plusieurs sous mouvements ;
- pour représenter une action d'un bouton, une représentation par des lettres peut être plus adaptée pour les personnes âgées à condition que celle-ci soit bien choisie (i.e. *affordante*) ;
- le choix des mots pour la description des actions est très important suivant le public visé. Il est donc nécessaire de préciser un dictionnaire de mots à utiliser pour les spécifications.

Chapitre 4 :

Conclusion et perspectives

A. Conclusion

Si une seule conclusion était à garder de cette thèse, c'est que les personnes âgées ont besoin d'être prises en compte dès la conception d'une application interactive, d'un service ou d'un jeu, car la population des personnes âgées représente une partie non négligeable des acheteurs potentiels. Ceci est d'autant plus vrai pour un produit visant le marché des loisirs où ceux-ci représentent plus de la moitié du pouvoir d'achat dans ce domaine selon le professeur A. Franco [Franco, 2010]. Il ne faut pas oublier aussi que cette population va fortement augmenter dans les prochaines années [Giannakouris, 2008] et que les avancées prises dans la prise en compte de ces personnes dans le processus de la conception ne seront que plus bénéfiques dans le futur. Ces observations sur le marché des loisirs sont aussi valables pour le marché de l'assistance aux personnes, de la télémédecine et des prothèses mnésiques. Les personnes âgées veulent rester le plus longtemps possible chez elles : elles sont par conséquent favorables à une aide à domicile même si celle-ci est informatisée [Magnusson et al., 2004], [McCreadie et Tinker, 2005] et [Kaldoudi et al., 2009]. Finalement, cette prise en compte des demandes et des besoins des utilisateurs associés à ceux des aidants dès la conception est fondamentale, car elle demande des particularités avec lesquelles une conception pour tous ne pourra pas fonctionner [Gregor et al., 2002], [Hawthorn, 2003]. Par exemple, Hawthorn montre que la conception pour une personne âgée va à l'encontre d'une conception pour les jeunes adultes. En effet, alors que les personnes âgées recherchent la simplicité avec un minimum de fonctionnalité et une interaction simple, les jeunes adultes cherchent à ce que le logiciel leur apporte toutes les fonctionnalités qui peuvent leur être utiles.

Les conclusions de ces recherches, nous confirment qu'il est nécessaire de prendre en compte les personnes âgées dans la conception des produits (services, jeux, etc.). Une interaction efficace est fondamentale pour faciliter l'utilisation des systèmes par les personnes âgées. Les études de [Wood et al., 2005] et [Piper et al., 2010] ont montré que l'interaction tactile est facile d'accès et d'utilisation pour les personnes âgées. Cette dernière remarque a guidé l'objectif et la programmation des travaux de la thèse. Celle-ci a pour but de proposer des recommandations de conception adaptées aux personnes âgées pour les interactions tactiles. Évidemment ces recommandations ne sont pas complètes et ne recouvrent qu'une partie du domaine de l'étude de l'interaction tactile, car celui-ci est :

- d'une part, en forte évolution et de nouvelles technologies tactiles apparaissent régulièrement comme la reconnaissance par pixel avec la technologie PixelSense™ de la table tactile Surface 2 de Microsoft ;

- et d'autre part, est finalement assez vierge au niveau de son étude comparativement à d'autres interactions comme le clavier et la souris. Par conséquent dans le cadre de ce travail de thèse nous avons été contraint à circonscrire nos études expérimentales, car le domaine est trop vaste et dépasse la quantité de travail pour un seul sujet de thèse.

Pour pouvoir fournir des recommandations aux concepteurs de service à base d'interaction tactile, nous avons réalisé plusieurs états de l'art. Ceux-ci portent sur :

- un recensement des problèmes physiques et cognitifs apparaissant avec l'accroissement de l'âge tel que les problèmes de vision, d'audition, de mobilité, de mémorisation, etc. ;

- une présentation des différentes technologies d'écrans tactiles ainsi qu'un tableau de synthèse permettant de distinguer quelques-unes des caractéristiques présentées. Une méthode de sélection d'un écran tactile est aussi proposée ;

- une présentation des technologies disponibles pour les personnes âgées ou gérontechnologies basées sur l'interaction tactile. Un tableau de synthèse récapitule les fonctionnalités apportées par ces technologies.

Ces états de l'art m'ont permis également d'identifier différents problèmes que rencontrent les personnes âgées et qui n'ont pas été étudiés par la communauté scientifique lorsqu'on les associe à l'utilisation d'un écran tactile. Inversement, l'étude de l'interaction tactile n'a pas été forcément conduite sur la population âgée, ce qui réduit la validité des résultats de ces études, car de nouvelles problématiques apparaissent avec cette population. À travers ces divers états de l'art, nous confirmons qu'une attention toute particulière due aux pertes des facultés cognitives, motrices et perceptives, doit être prise dans la conception de systèmes informatisés (comme par exemple des services ou des jeux). En effet [Salhouse, 1994] et [Morgan et al., 1994] ont montré que les personnes âgées subissaient en fonction de la tâche à réaliser des réductions dans leurs facultés perceptives, motrices et cognitives. La non-consideration de celles-ci peut être très pénalisante pour les utilisateurs âgés en situation d'interaction.

Pour pouvoir fournir des recommandations de conception, nous avons conçu deux plateformes expérimentales. Ces deux plateformes sont la base des deux chapitres principaux de la thèse. Pour chacun de ces chapitres, la plateforme et les tests associés avec leurs résultats sont présentés et détaillés.

Le premier de ces deux chapitres présente la plateforme EPTE qui permet à un expérimentateur de concevoir rapidement des séries de tests. Le but des tests conçus sur cette plateforme est d'appuyer sur la cible correspondante à la cible indiquée par la consigne. Les séries de tests sont personnalisables à l'aide de six paramètres qui sont : la taille des cibles, leur disposition, leur nombre, la représentation graphique de celle-ci, le temps d'affichage de la consigne et enfin la présence ou non d'un masque occultant ou non les cibles.

À partir de cette plateforme, deux expérimentations ont été créées et réalisées. Celles-ci ont pour but d'étudier l'optimisation spatiale de l'agencement d'une interface.

La première expérimentation vise à étudier l'intérêt de la bi-manualité dans le cas d'un découpage adapté ou non des commandes pour une interaction à base d'écran tactile. Pour cela, nous faisons varier le nombre de cibles, leur disposition avec un découpage de l'interface en un ou deux blocs et le nombre de mains à utiliser. Il en ressort que les personnes âgées sont bien plus lentes que les jeunes adultes. De plus, avec l'augmentation de l'âge, cette différence s'accroît. Un autre résultat est que l'utilisation d'un découpage de l'interface en deux blocs aide à l'utilisation de deux mains. Cependant l'utilisation de deux mains entraîne une augmentation du nombre d'erreurs chez les personnes âgées. Nous remarquons aussi que l'augmentation du nombre de cibles accroît fortement le temps de réalisation de l'expérimentation.

La deuxième expérimentation porte sur la capacité de mémorisation spatiale et sur son évolution lors de l'apprentissage. Pour cela, nous faisons varier le nombre de cibles ainsi que l'état de la transparence d'un masque occultant les cibles. Comme pour la première expérimentation, nous relevons que les personnes âgées sont toujours plus lentes que les jeunes adultes. Cette expérimentation montre aussi que le temps d'apprentissage est plus long chez les personnes âgées et que la précision entre les jeunes adultes et les personnes âgées est assez proche. Les repères visuels tels que les bords de l'écran permettent une meilleure rapidité et précision de localisation. Au niveau des erreurs, la différence entre les deux populations se fait surtout sur des erreurs de perception des couleurs. Il est donc important de faire attention aux couleurs choisies. Cette remarque est amplifiée par les problèmes récurrents de mauvais réglages des couleurs sur la plupart des écrans.

Le second chapitre porte sur une plateforme permettant de comparer des interactions à travers une tâche de manipulation d'objet. Les différentes actions associées aux tâches sont les actions de déplacer, de tourner et de zoomer.

Ce chapitre décrit trois expérimentations. Les deux premières expérimentations ont permis de s'assurer que la dernière expérimentation se déroule dans les meilleures conditions possibles.

La première expérimentation a pour but de définir des marges de validation permettant une validation plus facile, par la plateforme de test, des tâches demandées. Pour cela, nous avons donné quatre valeurs de marge pour chacun des types d'actions. Nous en avons déduit comme marge de validation une erreur de 2 pixels pour l'action de déplacer, une erreur de 2% pour l'action de zoomer et une erreur de 1° pour l'action de tourner. La seconde interaction a pour but de définir l'interaction à 1 doigt la plus pertinente pour pouvoir la comparer à l'interaction à base de deux doigts. Pour cela, nous avons testé deux interactions à 1 doigt :

- une basée sur une manipulation directe à 1 doigt avec subdivision en plusieurs zones de l'objet manipulable ;
- une basée sur une sélection de l'action à réaliser suivie d'une manipulation directe à 1 doigt sur tout l'objet manipulable.

Cette expérimentation a fait ressortir qu'une subdivision de l'objet manipulable est préférable à une pré sélection du type de l'action.

Finalement, la troisième expérimentation vise à faire ressortir ou non l'intérêt de l'interaction *multitouch*. La conclusion principale est que l'utilisation d'une interaction avec une seule main est préférable pour de nombreuses raisons à l'utilisation d'une interaction *multitouch*. Tout d'abord, l'interaction *multitouch* est beaucoup moins performante pour les personnes âgées. Elle l'est aussi, dans une moindre mesure, pour les jeunes adultes. Ensuite, elle entraîne une fatigue motrice beaucoup plus importante due au fait d'une contrainte motrice beaucoup plus forte. Finalement, les gestes associés aux actions ont beau être considérés comme bien choisis, ils posent quand même des soucis lors de leur réalisation. Le meilleur exemple est l'action de tourner qui ne fonctionne pas bien, car une partie des personnes âgées tourne les doigts sur eux-mêmes entraînant une non-détection de mouvement pour la surface tactile.

Nous proposons un tableau récapitulatif (Cf. Tableau 9) permettant de servir de premières bases de recommandation sur une optimisation d'une interaction tactile pour les personnes âgées.

Tableau 9 - Recommandations pour l'utilisation du tactile par les personnes âgées

Principe 1	Maximiser la perception	L'information et les composants de l'interface utilisateur doivent être présentés de manière à être bien perçus par les utilisateurs.
Recommandation 1.1	Augmenter les contrastes	Les différents composants ou informations de l'interface doivent avoir un contraste entre eux le plus élevé possible. Que cela soit par l'intermédiaire de la couleur, de la forme graphique et/ou de la lettre.
Recommandation 1.2	Bien choisir les représentations	La représentation des composants de l'interface sous forme d'icône n'est pas forcément la plus adaptée. L'utilisation de lettres peut être plus adaptée.
Recommandation 1.3	Profiter des repères visuels	Les repères visuels aident à la localisation et à la mémorisation. L'information et les composants de l'interface doivent en tenir compte.
Principe 2	Faciliter la motricité	La manipulation des composants de l'interface doit être facilitée.
Recommandation 2.1	Bien régler les temps d'interaction	Les composants de l'interface qui demandent un temps imparti pour être utilisés doivent avoir un temps permettant une utilisation par la population âgée.
Recommandation 2.2	Limiter le nombre de mouvements	La manipulation des composants de l'interface doit limiter les sous-mouvements pénalisants pour les personnes âgées.
Recommandation 2.3	Utiliser à bon escient le <i>multitouch</i>	Le <i>multitouch</i> nécessite une agilité importante des mains. La manipulation doit limiter son utilisation.
Principe 3	Réduire la charge cognitive	L'information et les composants de l'interface utilisateur doivent minimiser la charge cognitive.
Recommandation 3.1	Utiliser l'interaction la plus simple possible	Les composants de l'interface doivent utiliser l'interaction la plus simple possible pour limiter une surcharge cognitive.
Recommandation 3.2	Supprimer au maximum les éléments temporisés	L'information et les composants de l'interface doivent au maximum éviter d'utiliser des temporisations pour limiter le nombre d'erreurs.
Recommandation 3.3	Réduire la charge cognitive avec une interaction à deux mains	Le découpage par groupe de composants de l'interface augmente la lisibilité pour une interaction à deux mains.
Recommandation 3.4	Utiliser un vocabulaire adapté	Les informations et les composants de l'interface utilisateur doivent utiliser un vocabulaire compris par la population âgée.
Principe 4	Faciliter l'apprentissage	L'interaction et l'application doivent avoir des tutoriaux d'apprentissage bien réalisés.
Recommandation 4.1	Assurer la présence d'un tutoriel	L'application doit au moins contenir un tutoriel sur l'apprentissage progressif de l'interaction et de celle-ci.
Recommandation 4.2	Commencer par un tutoriel	La première fois l'application doit proposer à l'utilisateur un tutoriel à apprentissage progressif et répété.

B. Perspectives

Cette thèse nous a permis de dégager des recommandations de conception qui peuvent être très utiles pour éviter de créer des interactions qui poseront problème lors de l'utilisation par les personnes âgées.

Ces recommandations sont une première étape pour limiter les risques de mauvaise conception. Mais il serait intéressant d'avoir plus que des recommandations et de proposer des modélisations de performances en fonction de l'âge. Les expérimentations nous ont aussi permis de soulever de nouvelles problématiques auxquelles nous n'avions pas pensé lors de la conception de celles-ci. Pour décrire les différentes perspectives que nous pouvons dégager de nos travaux, je propose un découpage en deux parties : d'une part les perspectives qui sont communes à toutes les expérimentations ; d'autre part celles qui sont rattachées plus spécifiquement à une expérimentation.

1) Les perspectives générales

La première perspective est de modéliser les performances en fonction de l'âge. Pour cela, nous avons besoin d'un nombre d'utilisateurs beaucoup plus important. De plus, il serait intéressant de ne pas se limiter spécifiquement à la population de personnes âgées versus jeunes adultes, mais aussi ouvrir vers la population des enfants. En effet, la population des enfants est probablement plus proche de celle des personnes âgées par le fait que leur niveau de connaissance est plus semblable. Cependant, ils sont probablement plus aptes à la découverte de nouvelles technologies.

La deuxième perspective est de voir la différence de l'impact d'autres périphériques d'interaction sur ces expérimentations. Il serait intéressant de comparer la précision du stylet comparativement au tactile. Des études montrent déjà les problèmes de précision des personnes âgées [Moffatt et McGrenere, 2009]. Mais, elles se limitent souvent à des interactions classiques. Nous pourrions étudier cette différence pour l'expérimentation sur la mémorisation afin d'étudier son impact sur la précision entre les deux interactions. De la même manière, nous pourrions étudier la précision de manipulation entre le tactile et le stylet. Enfin la dernière perspective générale n'en est pas vraiment une, mais plutôt une rigueur plus importante lors de nos tests sur la classification des sujets. En effet, il serait intéressant de réaliser des prétests permettant de quantifier les différentes capacités qui interviennent dans nos expérimentations comme la motricité, la vision ou les capacités cognitives. Pour la capacité motrice, quelques recherches donnent des pistes pour pouvoir mesurer celle-ci [Price

et Sears, 2009] et permettre un classement des utilisateurs suivant cette capacité. Ceci permet d'étudier son influence sur les performances. De même, les capacités cognitives peuvent être testées par l'intermédiaire de tests comme ceux du Quotient Intellectuel (QI) ou du Mini-Mental State (MMS) [Folstein et al., 1975].

2) Les perspectives spécifiques

La première perspective est commune aux deux premières expérimentations. Elle porte sur la plateforme EPTE. En effet, il serait intéressant de la faire évoluer afin que celle-ci réponde à des objectifs plus larges. Nous envisageons de permettre la gestion de plusieurs types d'utilisateur de la plateforme : les concepteurs d'expérimentation qui peuvent définir des tests avec un paramétrage spécifique ; les participants qui peuvent réaliser les expérimentations définies par la première catégorie d'utilisateur ; et enfin les analystes qui ont accès aux résultats des participants et qui peuvent en déduire des modèles. Pour pouvoir gérer ces trois types d'utilisateur, il faut augmenter les fonctionnalités de la plateforme actuelle pour gérer la création d'expérimentation et pour permettre l'analyse à distance des résultats. L'analyse des résultats peut permettre aussi un suivi des participants vu qu'il y a une gestion des itérations sur les expérimentations. Pour motiver les participants à réaliser les expérimentations, il serait intéressant de rajouter un module de gestion de score permettant à la personne de voir son évolution au cours du temps et pouvoir se comparer à d'autres personnes.

Après cette première perspective, nous allons détailler plus spécifiquement les perspectives liées à chaque expérimentation.

a) L'expérimentation sur la bi-manualité

Deux perspectives se dégagent de cette expérimentation. La première serait de rajouter un dispositif permettant de détecter quel doigt et main à appuyer sur la surface tactile. Ceci nous permettrait de voir la limite exacte de conflit sur la configuration en 1 bloc entre les deux mains. Pour permettre ces mesures, nous pourrions utiliser des gants de données qui permettent de recueillir le niveau de « courbure » de chaque doigt. La deuxième perspective est d'utiliser une surface tactile permettant de récupérer la force d'appui du doigt. Ceci nous permettrait d'une part d'analyser les performances en fonction de la quantité de force utilisée, mais aussi de voir l'évolution de ces performances en fonction de la force cumulée dans le temps. Des surfaces tactiles existent pour mesurer la force de pression, principalement celles basées sur la technologie à jauges de contrainte. Il serait intéressant de vérifier si cette technologie nous permettrait à la fois de satisfaire nos besoins en précision de détection et en

précision de la détection de la force exercée. En effet, nous avons vu que les personnes âgées appuient très fortement sur la surface tactile, dès lors qu'elles ont l'impression que l'appui ne marche pas. Or, avec la technologie tactile que nous avons utilisée, la détection est du coup de moins en moins efficace. Il faut par conséquent que cette technologie de jauge de contrainte corresponde aux plages de force exercée par les personnes âgées sinon les détections de pression ne seront pas pertinentes.

b) L'expérimentation sur la mémorisation

Nous avons vu avec cette expérimentation que les repères visuels sont très importants pour la précision de localisation des objets. Il serait donc intéressant de changer le nombre de cibles que nous avons utilisé pour passer sur un nombre impair. Ce choix nous permet de rajouter une cible centrale qui par conséquent devrait avoir une localisation précise.

Dans la même idée de se servir de repères visuels, il serait intéressant de tester d'autres dispositions s'appuyant davantage sur les repères. Par exemple, nous pourrions étudier une disposition des cibles sur les quatre coins de l'écran. Le positionnement ne serait plus forcément adapté à une réduction de la fatigue motrice, mais permettrait une fatigue cognitive peut-être moins importante.

Ces deux perspectives sont aussi très intéressantes à étudier au niveau de l'apprentissage avec un nombre de repères plus important. Nous pourrions étudier en fonction du nombre de repères visuels l'impact sur les performances et sur la préférence des utilisateurs. Ceci nous permettrait de trouver le positionnement le plus pertinent pour aider les personnes âgées dans l'utilisation des interfaces.

c) L'expérimentation sur le multitouch

Cette expérimentation a montré que le *multitouch* n'est pas une interaction adaptée lors d'une première utilisation surtout pour les personnes âgées. Les performances pures ne sont pas bonnes avec un temps deux fois plus élevé et une fatigue motrice plus importante. Les préférences vont dans le sens des résultats quantitatifs en sélectionnant l'interaction à base de grille devant l'interaction *multitouch*. Mais ces résultats se basent sur une comparaison de première utilisation de ces interactions. Il serait intéressant de vérifier si avec une phase d'apprentissage plus longue, l'interaction *multitouch* est toujours moins intéressante qu'une interaction avec un seul doigt.

Cette expérimentation se limite aussi à l'étude de l'interaction *multitouch* avec deux doigts d'une seule main. En effet, des recherches montrent que pour des actions synchronisées, il est

conseillé d'utiliser deux doigts de la même main [Moscovich et Hugues, 2008]. Cependant, cette recherche ne se base pas sur une population âgée. Il serait donc intéressant de vérifier si c'est toujours le cas pour les personnes âgées. En effet, l'avantage d'utiliser deux mains est que l'utilisateur gagne au niveau de la mobilité. Ceci pourrait compenser les problèmes d'agilité des personnes âgées.

Enfin, les personnes âgées ont eu de nombreux problèmes de réalisation des mouvements lors de la réalisation des tests avec l'interaction *multitouch*. Pourtant, lors des phases d'apprentissage, nous leur avons expliqué comment réaliser les mouvements. Il serait donc intéressant d'analyser les mouvements au niveau des doigts, dans le but de modéliser des trajectoires optimisées au niveau des contraintes physiques des personnes âgées. À partir de ces modélisations, nous pourrions créer des tutoriaux adaptés à cette population.

Bibliographie

- [Ahlström et al., 1992] Ahlström, B., Lenman, S., Marmolin, T. 1992. *Overcoming Touchscreen User Fatigue by Workplace Design*. Dans Posters and Short Talks of the 1992 SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI'92 (May 03 - 07, 1992, Monterey), ACM Press, New York, 1992, pp. 101-102.
- [Albaret et Aubert, 2001] Albaret, J. M., Aubert, E. 2001. *Vieillesse et Psychomotricité*. Solal. Marseille.
- [Albert et Kaplan, 1980] Albert, M. S., Kaplan, E. 1980. *Organic implications of neuropsychological deficits in the elderly*. Dans L.W. Poon, J.L. Fozard, L.S. Cermack, D. Arenberg, & L.W. Thompson (Eds.). *New directions in Memory and aging* (pp. 403-432). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- [Al Faraj et al., 2008] Al Faraj, K., Mojahid, M., Vigouroux, N. 2008. *GrooveWrite: A Multi-purpose Stylus-Based Text Entry Method*. Dans Proceedings of the 11th international conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP '08), Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1196-1203. DOI=10.1007/978-3-540-70540-6_180 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-70540-6_180
- [Allen, 1990] Allen, R E, Ed, 1990. *The Concise Oxford Dictionary of Current English*, 8th ed, Oxford: Oxford University Press, 1990. pp 1453.
- [Appert et Zhai, 2009] Appert, C., Zhai, S. 2009. *Using strokes as command shortcuts: cognitive benefits and toolkit support*. Dans Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems (CHI '09). ACM, New York, NY, USA, 2289-2298. DOI=10.1145/1518701.1519052 <http://doi.acm.org/10.1145/1518701.1519052>
- [Baddeley, 1986] Baddeley, A. 1986. *Working Memory*. Dans Oxford Science Publication. Clarendon Press.
- [Bakaev, 2008] Bakaev, M. 2008. *Fitts' law for older adults: considering a factor of age*. Dans Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (Porto Alegre, RS, Brazil, October 21 - 24, 2008). ACM International Conference Proceeding Series, vol. 378. Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, Brazil, 260-263.

[Bhachu et al., 2008] Bhachu, A. S., Hine, N., Arnott, J. 2008. *Technology devices for older adults to aid self management of chronic health conditions*. Dans Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (Halifax, Nova Scotia, Canada, October 13 - 15, 2008). Assets '08. ACM, New York, NY, 59-66. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1414471.1414484>

[Birren et Schaie, 1977] Birren, J. E., Schaie, K. W. 1977. *Handbook of the psychology of aging*, 1st ed, The handbooks of aging, (ed.), Birren, J E, Vol. 2, New York: Van Nostrand Reinhold, 1977. pp 787.

[Björneby et al., 1999] Björneby, S., Topo, P., Holthe, T. 1999. *Technology, Ethics and Dementia : A guidebook on how to apply technology in dementia care*. Dans EU Biomed II project Technology, Ethics and Dementia TED ; Sem : Norwegian Centre for Dementia Research, INFO-banken, 1999. - 64 p. ISBN 82-91054-62-2.

[Brennan et al., 1997] Brennan, M., Welsh, M. C., Fisher, C. B. 1997. *Aging and executive function skills: An examination of a community-dwelling older adult population*. Dans Perceptual and Motor Skills, 84, 1187-1197.

[Bryan et Luszcz, 1996] Bryan, J., Luszcz, M. A. 1996. *Speed of information processing as a mediator between age and free-recall performance*. Dans Psychology and Aging, 1, 3-9.

[Burke et al., 1991] Burke, D., Mackay, D., Worthley, J., Wade, E. 1991. *On the tip of the tongue: What causes word finding failures in young and older adults?* Dans Journal of Memory and Language, 30, 542-579.

[Callahan et al., 1988] Callahan, J., Hopkins, D., Weiser, M., Shneiderman, B. 1988. *An empirical comparison of pie vs. linear menus*. Dans Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '88), J. J. O'Hare (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 95-100. DOI=10.1145/57167.57182 <http://doi.acm.org/10.1145/57167.57182>

[Card et al., 1978] Card, S. K., English, W. K., Burr, B. J. 1978. *Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT*. Dans Ergonomics, 21, 601-613.

[Carmichael, 1994] Carmichael, A. 1994. *Assessing Audio Quality for Audio Description of Television*. Dans 12th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Toronto: Human Factors Association of Canada, 1994.

[Carmichael, 1999] Carmichael, A., 1999. *Style Guide for the Design of Interactive Television Services for Elderly Viewers*. Dans Independent Television Commission, Winchester.

[Chaparro et al., 1999] Chaparro, A., Bohan, M., Fernandez, J., Choi, S. D., Kattel, B. 1999. *The impact of age on computer input device use: Psychophysical and physiological measures*. Dans Int. J. Industrial. Ergonomics 24, 503–513.

[Charness, 1981] Charness, N. 1981. *Aging and skilled problem solving*. Dans Journal of Experimental Psychology: General, 110, 21-28.

[Charness et Bosman, 1992] Charness, N., Bosman, E. A. 1992. *Human factors and age*. Dans F.I.M. Craik & T.A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 495-552). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

[Charness et Campbell, 1988] Charness, N., Campbell, J. I. D. 1988. *Acquiring skill at mental calculation in adulthood: a task decomposition*. Dans Journal of Experimental Psychology: General, 117, 115-129.

[Chin et al., 2009] Chin, J., Fu, W., Kannampallil, T. 2009. *Adaptive information search: age-dependent interactions between cognitive profiles and strategies*. Dans Proceedings of the 27th international Conference on Human Factors in Computing Systems (Boston, MA, USA, April 04 - 09, 2009). CHI '09. ACM, New York, NY, 1683-1692. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1518701.1518961>

[Clark et al., 1987] Clark, J. E., Lanphear, A. K., Riddick, C. C. 1987. *The effects of video game playing on the response selection processing of elderly adults*. Dans Journal of Gerontology, 42, 82-85.

[Cole, 1991] Cole, K. J. 1991. *Grasp force control in older adults*. Dans Journal of Motor Behavior, 23, 251-258.

[Corso, 1977] Corso, J. F. 1977. *Auditory perception and communication*. Dans Handbook of the Psychology of Aging, Birren, J E and Schaie, K W, (eds.), New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1977. pp 535-553.

[Craik et al., 1995] Craik, F. I. M., Anderson, N. D., Kerr, S.A., Li, K.Z.H. 1995. *Memory changes in normal aging*. Dans A.D. Baddeley, B.A. Wilson & F.N. Watts (Eds.). Handbook of memory disorders (pp. 211-241). John Wiley & Sons Ltd.

[Diggles-Buckles, 1993] Diggles-Buckles, V. 1993. *Age-related slowing*. Dans G.E. Stelmach & V. Hömberg (Eds.), Sensorimotor impairments in the elderly (pp 73-88). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

[Dubois et al., 1994] Dubois, B., Pillon, B., Sirigu, A. 1994. *Fonctions intégratrices et cortex préfrontal chez l'homme*. Dans X. Seron & M. Jeannerod (Eds.), Neuropsychologie humaine (pp. 453-467). Liège : Mardaga.

[Fearweather, 2008] Fairweather, P. G. 2008. *How older and younger adults differ in their approach to problem solving on a complex website*. Dans Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (Halifax, Nova Scotia, Canada, October 13 - 15, 2008). Assets '08. ACM, New York, NY, 67-72. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1414471.1414485>

[Feldman et Reger, 1967] Feldman, R. M., Reger, S. N. 1967. *Relations among hearing, reaction time and age*. Dans Journal of speech and hearing research, 10, 1967, pp 479- 495.

[Fabiani et Friedman, 1997] Fabiani, M., Friedman, D. 1997. *Dissociations between memory for temporal order and recognition memory in aging*. Dans Neuropsychologia, 35, 129-141.

[Fitts, 1954] Fitts, P. M. 1954. *The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement*. Dans Journal of Experimental Psychology, 47, 381-391.

[Folstein et al., 1975] Folstein, M. F., Folstein, S. E., McHugh, P. R. 1975. *Mini-mental state : a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician*. Dans Journal of psychiatric research, 12, 189-198.

[Forlines et al., 2007] Forlines, C., Wigdor, D., Shen, C., and Balakrishnan, R. 2007. *Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays*. Dans Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (San Jose, California, USA, April 28 - May 03, 2007). CHI '07. ACM, New York, NY, 647-656. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/1240624.1240726>

[Fozard et al., 1977] Fozard, J. L., et al. 1977. *Visual perception and communication*. Dans Handbook of the Psychology of Aging, Birren, J E and Schaie, K W, (eds.), New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1977. pp 497-534.

[Franco, 2010] Franco, A. 2010. *Rapport de la Mission « Vivre chez Soi »*.

[Giannakouris, 2008] Giannakouris, K. 2008. *Statistics in focus*. Dans Office for Official Publications of the European Communities. Catalogue number: KS-SF-08-072-EN-N. Available at: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-08-072/EN/KS-SF-08-072-EN.PDF

[Gowans et al., 2004] Gowans, G., Campbell, J., Alm, N., Dye, R., Astell, A., Ellis, M. 2004. *Designing a multimedia conversation aid for reminiscence therapy in dementia care environments*. Dans CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (Vienna, Austria, April 24 - 29, 2004). CHI '04. ACM, New York, NY, 825-836. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/985921.985943>

[Greene et Williams, 1996] Greene, L. S., Williams, H. G. (1996). *Aging and coordination from the dynamic pattern perspective*. Dans A.-M. Ferrandez & N. Teasdale (Eds.), Changes in sensory motor behavior in aging (pp. 89-131). Amsterdam : Elsevier.

[Grégoire, 1993] Grégoire, J. 1993. *Intelligence et vieillissement au WAIS-R, une analyse transversale de l'échantillon d'étalonnage français avec contrôle du niveau scolaire*. Dans L'Année Psychologique, 93, 379-400.

[Gregor et al., 2002] Gregor, P., Newell, A. F., and Zajicek, M. 2002. *Designing for dynamic diversity: interfaces for older people*. Dans Proceedings of the Fifth international ACM Conference on Assistive Technologies (Edinburgh, Scotland, July 08 - 10, 2002). Assets '02. ACM, New York, NY, 151-156. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/638249.638277>

[Hanson, 2009] Hanson, V. L. 2009. *Age and web access: the next generation*. Dans Proceedings of the 2009 international Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility

(W4a) (Madrid, Spain, April 20 - 21, 2009). W4A '09. ACM, New York, NY, 7-15. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1535654.1535658>

[Hawthorn, 2003] Hawthorn, D. 2003. *How universal is good design for older users?* Dans Proceedings of the 2003 Conference on Universal Usability (Vancouver, British Columbia, Canada, November 10 - 11, 2003). CUU '03. ACM, New York, NY, 38-45. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/957205.957213>

[Heim, 1968] Heim, A. W. 1968. *The AH4 Test*, Windsor: NFER Nelson, 1968.

[Helve et Krause, 1972] Helve, J., Krause, U. 1972. *The influence of age on performance in the Panel-D15 color vision test*, Dans Acta Ophthalmologica 50, p896-901.

[Hickey et al., 2009] Hickey, S., Yamamoto, G., Pitkanen, A., Hyry, J., Yoshitake, D. 2009. *Implementation of a picture based user interface to assist the elderly suffering from memory problems*. Dans Proceedings of the 8th international Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in industry (Yokohama, Japan, December 14 - 15, 2009). S. N. Spencer, Ed. VRCAI '09. ACM, New York, NY, 351-356. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1670252.1670331>

[Horn et Cattell, 1967] Horn, J. L., Cattell, R. B. 1967. *Age differences in fluid and crystallized intelligence*, Dans Acta Psychologica, 26, 1967, pp 107-129.

[Hultsch et al., 1991] Hultsch, D.F., Masson, M. E. J., Small, B. J. 1991. *Adult age differences in direct and indirect tests of memory*. Dans Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 46, 22-30.

[Humphreys et Bruce, 1989] Humphreys, G. W., Bruce, V. 1989. *Visual Cognition: computational, experimental and neuropsychological perspectives*, Dans Hove: Lawrence Erlbaum Associates, 1989.

[Hupet et Nef, 1994] Hupet, M., Nef, F. 1994. *Vieillesse cognitive et langage*. Dans M. Van der Linden & M. Hupet (Eds.), Le vieillissement cognitive (pp. 141-176). Paris: Presse Universitaires de France.

[Inglin et Woollacott, 1988] Inglin, B., Woollacott, M. 1988. *Age-related changes in anticipatory postural adjustments*. Dans Journal of Gerontology, 43, M105-M113.

[Isingrini et al., 1995] Isingrini, M., Vazou, F., Leroy, P. 1995. *Dissociation of implicit and explicit memory tests: Effect of age and divided attention on category exemplar generation and cued recall*. Dans *Memory and Cognition*, 23, 462-467.

[Isingrini et al., 1996] Isingrini, M., Hauer, K., Fontaine, R. 1996. *Effet du vieillissement sur les réponses basées sur la familiarité et sur la recherche en situation de reconnaissance*. *L'Année Psychologique*, 96, 255-273.

[Isingrini et Tacconnat, 1997] Isingrini, M., Tacconnat, L. 1997. *Aspect du vieillissement normal de la mémoire*. Dans *Psychologie Française*, 42, 319-331.

[Isingrini et Vazou, 1997] Isingrini, M., Vazou, F. 1997. *Relation between fluid intelligence and frontal lobe functioning in older adults*. Dans *The International Journal of Aging and Human Development*, 45, 99-109.

[Jin et al., 2007] Jin, Z. X., Plocher, T., Kiff, L. *Touch Screen User Interfaces for Older Adults: Button Size and Spacing*. Dans *Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity*, Springer, Berlin / Heidelberg, pp 933--941, 2007.

[Kaldoudi et al., 2009] Kaldoudi, E., Chatzopoulou, A., Vargemezis, V. 2009. *An interpetive approach in the evaluation of homecare telematics interventions*. In *Proceedings of the 2nd international Conference on Pervasive Technologies Related To Assistive Environments (Corfu, Greece, June 09 - 13, 2009)*. PETRA '09. ACM, New York, NY, 1-8. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1579114.1579171>

[Kasday, 2004] [http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetahtml%2FPTO%2Fsearch-adv.htm&r=7&f=G&l=50&d=PTXT&S1=\(touch.TI.+AND+\(%22bell+laboratories%22.ASN M.\)\)&OS=TTL/touch+AND+AN/%22bell+laboratories%22&RS=\(TTL/touch+AND+AN/%22bell+laboratories%22\)](http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetahtml%2FPTO%2Fsearch-adv.htm&r=7&f=G&l=50&d=PTXT&S1=(touch.TI.+AND+(%22bell+laboratories%22.ASN M.))&OS=TTL/touch+AND+AN/%22bell+laboratories%22&RS=(TTL/touch+AND+AN/%22bell+laboratories%22))

[Kaufman et al., 1989] Kaufman, A. S., Reynolds, C. R. McLean, J. E. 1989. *Age and WAIS-R Intelligence in a national sample of adults in the 20- to 74- year age range: A cross-sectional analysis with educational level controlled*. Dans *Intelligence*, 13, 235-253.

[Kausler, 1994] Kausler, D. H. 1994. *Learning and memory in normal aging*. Dans *San Diego, CA: Academic Press*.

[Kausler et Keilm, 1978] Kausler, D. H., Kleim, D. M. 1978. *Age differences in processing relevant versus irrelevant stimuli in multiple item recognition learning*. Dans *Journal of Gerontology*, 33, 87-93.

[Kelso, 1995] Kelso, J. A. S. 1995. *Dynamic patterns. The self-organization of brain and behavior*. Dans Cambridge, MA : MIT Press.

[Kin et al., 2009] Kin, K., Agrawala, M., DeRose, T. 2009. *Determining the benefits of direct-touch, bimanual, and multifinger input on a multitouch workstation*. Dans *Proceedings of Graphics interface 2009* (Kelowna, British Columbia, Canada, May 25 - 27, 2009). ACM International Conference Proceeding Series, vol. 324. Canadian Information Processing Society, Toronto, Ont., Canada, 119-124.

[Konczak et al., 1992] Konczak, J., Meeuwsen, H. J., Cress, M. E. 1992. *Changing affordances in stair climbability in young and older adults*. Dans *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 18, 691-697.

[LaBerge et Samuels, 1974] LaBerge, D., Samuels, S. J. 1974. *Toward a theory of automatic information processing in reading*. Dans *Cognitive Psychology*, 6, 293-323.

[Lee et al., 1985] Lee, S., Buxton, W., Smith, K. C. 1985. *A Multi-Touch Three Dimensional Touch-Sensitive Tablet*. Dans *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (San Francisco, California, United States). CHI '85. ACM Press, New York, NY, 21-25.

[Lehuédé, 2010] Lehuédé, F. 2010. *Les seniors : des consommateurs accomplis*. Dans enquête CREDOC 2010.

[Lemaire, 1999] Lemaire, P. 1999. *Le vieillissement cognitif*. Dans Paris : Presse Universitaire de France.

[Lepicard et Vigouroux, 2010a] Lepicard, G. et Vigouroux, N. 2010. *Influence of age and interaction complexity on touch screen*. Dans *IEEE Healthcom 2010* (Lyon, France, 01/07/2010-03/07/2010). IEEEExplore Digital Library, 246-253.

[Lepicard et Vigouroux, 2010b] Lepicard, G. et Vigouroux, N. 2010. *Touch Screen User Interfaces for Older Subjects Effect of the Targets Number and the Two Hands Use*. Dans *ICC*

International Conference on Network Modelling and Economic Systems (Vienne, Autriche, 14/07/2010, 16/07/2010). ICCHP 2010. Springer, 592-599.

[Lepicard et Vigouroux, 2011] Lepicard, G. et Vigouroux, N. 2011. *Mémorisation de la disposition de cibles par les personnes âgées sur un écran tactile*. Dans Conférence Internationale sur l'accessibilité et les systèmes de suppléance aux personnes en situations de handicaps (Paris, France, 17/01/2011-19/01/2011). ASSISTH 2011. IRIT Press.

[Li, 2010] Li, Y. 2010. *Protractor: a fast and accurate gesture recognizer*. Dans Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems (CHI '10). ACM, New York, NY, USA, 2169-2172. DOI=10.1145/1753326.1753654 <http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753654>

[Light, 1992] Light, L. L. 1992. *The organization of memory in old age*. Dans F.I.M. Craik & T.A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 111-166). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

[Lindenberger et al., 1993] Lindenberger, U., Mayr, U., Kliegl, R. 1993. *Speed and intelligence in old age*. Dans *Psychology and Aging*, 8, 207-220.

[Lindley et al., 2008] Lindley, S. E., Harper, R., Sellen, A. 2008. *Designing for elders: exploring the complexity of relationships in later life*. Dans Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, interaction - Volume 1 (Liverpool, United Kingdom, September 01 - 05, 2008). British Computer Society Conference on Human-Computer Interaction. British Computer Society, Swinton, UK, 77-86.

[Lorenz et al., 2007] Lorenz, A., Mielke, D., Oppermann, R., Zahl, L. 2007. *Personalized mobile health monitoring for elderly*. Dans Proceedings of the 9th international Conference on Human Computer interaction with Mobile Devices and Services (Singapore, September 09 - 12, 2007). MobileHCI '07, vol. 309. ACM, New York, NY, 297-304. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1377999.1378022>

[MacKenzie, 1995] MacKenzie, I. S. 1995. *Movement time prediction in human-computer interfaces*. In R. M. Baecker, W. A. S. Buxton, J. Grudin, & S. Greenberg (Eds.), *Readings in human-computer interaction* (2nd ed.) (pp. 483-493). Los Altos, CA: Kaufmann.

[MacKenzie et Zhang, 1999] MacKenzie, I. S., Zhang, S. X. 1999. *The design and evaluation of a high-performance soft keyboard*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit (CHI '99). ACM, New York, NY, USA, 25-31. DOI=10.1145/302979.302983 <http://doi.acm.org/10.1145/302979.302983>

[Magnusson et al., 2004] Magnusson, L., Hanson, E. Borg, M. 2004. *A literature review study of information and communication technology as a support for frail older people living at home and their family carers*. Dans *Technology and Disability*, 16, 223-235.

[Marquié et Isingrini, 2001] Marquié, J. C., Isingrini, M. 2001. Aspects cognitifs du vieillissement normal. Dans Eric Aubert et Jean-Michel Albaret (Eds.) *Vieillesse et psychomotricité* (pp. 77-113). Marseille. Solal éditeur.

[McCreadie et Tinker, 2005] McCreadie, C., Tinker, A. 2005. *The acceptability of assistive technology to older people*. Dans *Aging and Society*, 25, 91-110.

[Mead et Spaulding Johnson, 1999] Mead, S. E., Spaulding Johnson, V. A. 1999. *A process for research on aging and computer use*. Dans *CHI '99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Pittsburgh, Pennsylvania, May 15 - 20, 1999). CHI '99. ACM, New York, NY, 324-325. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/632716.632912>

[Mikkonen et al., 2002] Mikkonen, M., Väyrynen, S., Ikonen, V., Heikkilä, M. O. 2002. *User and Concept Studies as Tools in Developing Mobile Communication Services for the Elderly*. Dans *Personal Ubiquitous Comput.* 6, 2 (Jan. 2002), 113-124. DOI= <http://dx.doi.org/10.1007/s007790200010>

[Miller, 1956] Miller, G. 1956. *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information*. Dans *The Psychological Review*, Vol. 63, 1956, pp. 81-97.

[Mishara et Riedel, 1994] Mishara, B. L., Riedel, R. G. 1994. *Le vieillissement* (3^e ed.) Paris : PUF.

[Moffatt et McGrenere, 2009] Moffatt, K., McGrenere, J. 2009. *Exploring Methods to Improve Pen-Based Menu Selection for Younger and Older Adults*. Dans *ACM Trans. Access. Comput.* 2, 1 (May. 2009), 1-34. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/1525840.1525843>

[Morgan et al., 1994] Morgan, M., Phillips, J. G., Bradshaw, J. L., Mattingley, J. B., Iansek, R., Bradshaw, J. A. 1994. *Age-related motor slowness : simply strategic ?* Dans *Journal of Gerontology : Medical Sciences*, 49, 3, 133-139.

[Moscovich et Hugues, 2008] Moscovich, T. Hughes, J. F. 2008. *Indirect mappings of multi-touch input using one and two hands*. Dans *Proceeding of the Twenty-Sixth Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Florence, Italy, April 05 - 10, 2008)*. CHI '08. ACM, New York, NY, 1275-1284. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1357054.1357254>

[Park et al., 1996] Park, D. C., Smith, A. D., Lautenschlager, G., Earles, J. L., Frieske, D., Zwahr, M., Gaines, C. L. 1996. *Mediators of long-term memory performance across the life span*. Dans *Psychology and Aging*, 11, 621-637.

[Piper et al., 2010] Piper, A. M., Campbell, R., Hollan, J. D. 2010. *Exploring the accessibility and appeal of surface computing for older adult health care support*. Dans *Proceedings of the 28th international Conference on Human Factors in Computing Systems (Atlanta, Georgia, USA, April 10 - 15, 2010)*. CHI '10. ACM, New York, NY, 907-916. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753461>

[Po et al., 2004] Po, B. A., Fisher, B. D., Booth, K. S. 2004. *Mouse and touchscreen selection in the upper and lower visual fields*. Dans *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Vienna, Austria, April 24 - 29, 2004)*. CHI '04. ACM, New York, NY, 359-366. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/985692.985738>

[Price et Sears, 2009] Price, K., Sears, A. 2009. *The Development and Evaluation of Performance-Based Functional Assessment: A Methodology for the Measurement of Physical Capabilities*. Dans *ACM Trans. Access. Comput.* 2, 2 (Jun. 2009), 1-31. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1530064.1530068>

[Raven, 1943] Raven, J. C. 1943, *The Mill Hill Vocabulary Scale*, Dans London: H K Lewis & Co, 1943.

[Raynal et Vigouroux, 2005] Raynal, M., Vigouroux, N. 2005. *Genetic algorithm to generate optimized soft keyboard*. Dans *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI '05)*. ACM, New York, NY, USA, 1729-1732. DOI=10.1145/1056808.1057008 <http://doi.acm.org/10.1145/1056808.1057008>

- [Rekimoto, 2002] Rekimoto, J. 2002. *SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces*. Dans Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves (CHI '02). ACM, New York, NY, USA, 113-120. DOI=10.1145/503376.503397 <http://doi.acm.org/10.1145/503376.503397>
- [Rothstein,et al., 1989] Rothstein, D., Larish, D., Petruzello, S., Crews, D., Nahom, A. 1989. *Bimanual coordination in the healthy old*. Dans The Gerontologist, 29, 258A-259A.
- [Roy et al., 1996] Roy, E. A., Weir, P. L., Leavitt, J. L. 1996. *Constraints on prehension : a framework for studying the effects of aging*. Dans A.-M. Ferrandez & N. Teasdale (Eds), Changes in sensory-motor behavior in aging (pp. 279-314). Amsterdam : Elsevier.
- [Rubine, 1992] Rubine, D. 1992. *Combining gestures and direct manipulation*. Dans Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '92), Penny Bauersfeld, John Bennett, and Gene Lynch (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 659-660. DOI=10.1145/142750.143072 <http://doi.acm.org/10.1145/142750.143072>
- [Salthouse, 1991] Salthouse, T. A. 1991. *Theoretical perspectives on cognitive aging*. Dans Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [Salthouse, 1994] Salthouse, T. A. 1994. *The aging of working memory*. Dans Neuropsychology, 8, 535-543.
- [Salthouse, 1996] Salthouse, T. A. 1996. *The processing-speed theory of adult age differences in cognition*. Dans Psychological Review, 3, 403-428.
- [Salthouse et al., 1989] Salthouse, T. A., Mitchell, D. R. D., Skovronek, E., Babcock, R. 1989. *Effects of adult age and working memory on reasoning and spatial abilities*. Dans Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15, 507-516.
- [Salthouse et Babcock, 1991] Salthouse, T. A., Babcock, R. L. 1991. *Decomposing adult age differences in working memory*. Dans Developmental Psychology, 27, 763-776.
- [Salthouse et al., 1996a] Salthouse, T. A., Fristoe, N., Rhee, S. H. 1996. *How localized are age-related effects on neuropsychological measures?* Dans Neuropsychology, 2, 272-285.

- [Salthouse et al., 1996b] Salthouse, T. A., Hancock, H. E., Meinz, E. J., Hambrick, D. Z. 1996. *Interrelations of age, visual acuity and cognitive functioning*. Dans *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 51, 317-330.
- [Schacter et Tulving, 1994] Schacter, D. L., Tulving, E. 1994. *Qu'en est-il de la notion de systèmes mnésiques en 1994 ?* Dans D.L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Systèmes de mémoire chez l'homme et chez l'animal* (pp. 15-48). Marseille: Solal.
- [Schacter et al., 1997] Schacter, D. L., Koutstaal, W., Norman, K. A. 1997. *False memories and aging*. Dans *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 229-232.
- [Spencer et Raz, 1995] Spencer, W. D., Raz, N. 1995. *Differential effects of aging on memory for content and context : A meta-analysis*. Dans *Psychology and Aging*, 4, 527-539.
- [Spirduso et Choi, 1993] Spirduso, W. W., Choi, Y. 1993. *Age and practice effects on force control of the thumb and index fingers in precision pinching and bilateral coordination*. Dans G.E. Stelmach & V. Hömberg (Eds.), *Sensory-motor impairments in the elderly* (pp. 393-412). Boston : Kluwer Academic Publishers.
- [Spirduso, 1995] Spirduso, W. W. 1995. *Physical dimension of aging*. Dans Champaign, IL : Human Kinetics.
- [Squire, 1994] Squire, L. R. 1994. *Declarative and nondeclarative memory: Multiple brain systems supporting learning and memory*. Dans D.L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory systems 1994* (pp. 208-132). Cambridge, MA: MIT Press.
- [Stern et al., 1991] Stern, C., Prather, P., Swinney, D., Zurif, E. 1991. *The time course of automatic lexical access and aging*. Dans *Brain and Language*, 40, 359-372.
- [Stephanidis, 1997] Stephanidis, C. 1997. *Towards the Next Generation of UIST: Developing for all Users*. Dans *Proceedings of the Seventh International Conference on Human-Computer Interaction-Volume 1 - Volume I (HCI International '97)*, Gavriel Salvendy, Michael J. Smith, and Richard J. Koubek (Eds.), Vol. I. Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, 473-476.
- [Stine et Wingfield, 1987] Stine, E. L., Wingfield, A. 1987. *Process and strategy in memory for speech among younger and older adults*. Dans *Psychology and Aging*, 2, 272-279.

[Swinnen et al., 1998] Swinnen, S. P., Verschueren, S. M. P., Bogaerts, H., Dounskaia, N., Lee, T. D., Stelmach, G. E., Serrien, D. J. 1998. *Age-related deficits in motor Learning and differences in feedback processing during the production of a bimanual coordination pattern*. Dans *Cognitive Neuropsychology*, 15, 5, 439-466.

[Tan et al., 2002] Tan, D. S., Pausch, R., Stefanucci, J. K., Proffitt, D. R. 2002. *Kinesthetic cues aid spatial memory*. Dans *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Minneapolis, Minnesota, USA, April 20 - 25, 2002). *CHI '02*. ACM, New York, NY, 806-807. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/506443.506607>

[Tavernier-Vidal et Mourey, 1991] Tavernier-Vidal, B., Mourey, F. 1991. *Réadaptation et perte d'autonomie physique chez le sujet âgé*. Dans Paris : Frison-Roche.

[Timiras et Jobin, 1997] Timiras, P. S., Jobin, M. 1997. *Vieillesse et gériatrie*, Dans *Les bases physiologiques* (2^e ed.). Paris : Maloine.

[Tulving, 1993] Tulving, E. 1983. *Elements of episodic Memory*. Dans Oxford : Oxford Science Publication.

[Van den Broek et al., 2007] Van den Broek, E. L., Schouten, T. E., Kisters, P. M. 2008. *Modeling human color categorization*. Dans *Pattern Recogn. Lett.* 29, 8 (Jun. 2008), 1136-1144. DOI= <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2007.09.006>

[Van der Linden, 1994] Van der Linden, M. 1994. *Mémoire à long terme et vieillissement*. Dans M. Van der Linden & M. Hupet (Eds.) ; *Le vieillissement cognitif* (pp. 87-140). Paris : PUF.

[Van der Linden, 1997] Van der Linden, M. 1997. *Vieillesse normale, démence d'Alzheimer et mémoire de travail*. Dans *Psychologie Française*, 4, 379-390.

[Warabi et al., 1986] Warabi, T., Noda, H., Kato, T. 1986. *Effects of aging on sensorimotor functions of eye and hand movements*. Dans *Experimental Neurology*, 92, 686-697.

[Welford, 1985] Welford, A. T. 1985. *Changes of performance with age : an overview*. Dans N. Charness (Ed.), *Aging and Human Performance* (pp. 333-369). New York : Willey J. & Sons.

[Weller et Latimer-Sayer, 1985] Weller, M. P. I., Latimer-Sayer, D. T. 1985. *Increasing right hand dominance with age on a motor skill task*. Dans *Psychology Medicine*, 15, 867-872.

[Wellner, 1991] Wellner, P. 1991. *The DigitalDesk calculator: tangible manipulation on a desktop display*. Dans *Proceedings of the 4th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '91)*. ACM, New York, NY, USA, 27-33. DOI=10.1145/120782.120785 <http://doi.acm.org/10.1145/120782.120785>

[Weston, 1948] Weston, H. C. 1948. *The effect of age and illumination upon visual performance with close sights*. Dans *British Journal of Ophthalmology*, 32, 645-653.

[Weston, 1949] Weston, H. C. 1949. *On age and illumination in relation to visual performance*. Dans *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 14, 281-297.

[Wilcox et al., 2010] Wilcox, L., Morris, D., Tan, D., and Gatewood, J. 2010. *Designing patient-centric information displays for hospitals*. Dans *Proceedings of the 28th international Conference on Human Factors in Computing Systems (Atlanta, Georgia, USA, April 10 - 15, 2010)*. CHI '10. ACM, New York, NY, 2123-2132. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753650>

[Wood et al., 2005] Wood, E., Willoughby, T., Rushing, A., Bechtel, L. and Gilbert, J. 2005. *Use of Computer Input Devices by Older Adults*. Dans *Journal of Applied Gerontology* 24(5): 419-438. 2005.

[Zanone, 1999] Zanone, P. G. 1999. *Une approche écologique-dynamique de la coordination*. Dans J.M. Albaret & R. Soppelsa (Eds.). *Précis de rééducation de la motricité manuelle* (pp. 29-54). Marseille : Solal.

[Zaphiris et al., 2005] Zaphiris, P., Ghiawadwala, M., Mughal, S. 2005. *Age-centered research-based web design guidelines*. Dans *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (Portland, OR, USA, April 02 - 07, 2005)*. CHI '05. ACM, New York, NY, 1897-1900. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/1056808.1057050>

ANNEXES

Fiche de renseignements

Version 1.0

Auteur : Guillaume Lepicard



Vous et votre environnement

Quel est votre âge ?

Portez-vous un intérêt à la technologie ?

Aucun Énormément

Quelle est la facilité que vous avez à utiliser une nouvelle technologie ?

Très difficile Très facile

L'accès à un ordinateur est-il possible ?

Jamais Toujours

Quel est votre environnement de vie ?

- Famille
 - Seul(e)
 - Famille d'accueil
 - Maison de retraite
 - Autre (précisez)
-

Informations corporelles

Avez-vous des troubles visuels une fois corrigés?

- Oui
- Non

Précisez quel est votre système de correction (Plusieurs choix possibles)

- Aucun
- Lunettes
- Lentilles

Précisez quels types de troubles sont corrigés (Plusieurs choix possibles)

- Aucun
- Myopie
- Presbytie
- Hypermétropie
- Astigmatisme

Quelle est votre main directrice ?

- Droite
- Gauche
- Ambidextre

Avez-vous des problèmes moteurs sur la partie haute du corps ?

- Non
- Oui (précisez la ou les différentes parties)

Usages et fréquence d'utilisation

Avez-vous un téléphone portable ?

- Oui
- Non

Si oui, votre téléphone portable est-il tactile ?

- Oui
- Non

Avez-vous un ordinateur ?

- Oui
- Non

Quelle est votre fréquence d'utilisation d'un ordinateur ?

- Jamais
- Moins d'une fois par semaine
- Une fois par semaine
- Plusieurs fois par semaine
- Une fois par jour
- Plusieurs fois par jour

Quel est le couple de périphériques que vous utilisez pour contrôler un ordinateur ?

- Clavier + souris
- Autre (précisez)

Quels sont les types d'applicatifs que vous utilisez ? (Plusieurs choix possibles)

- Web
- Courriel
- Chat (visioconférence, textuel, audio)
- Vidéo
- Musique
- Jeux
- Bureautique
- Lecture (e-book)
- Autre (précisez)

ACCORD DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Par la présente, le participant identifié au point 2. accepte de se laisser filmer et enregistrer dans le cadre de l'expérience décrite au point 1. Les parties 3. et 4. s'engagent à la confidentialité des données enregistrées et à ne pas utiliser ces données à d'autres fins que celles en rapport avec la recherche décrite au point 1.

1. DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

Evaluation de la bi manualité suivant le nombre de cibles et la disposition de celles-ci.

2. LE PARTICIPANT

Nom :

Prénom :

Identifiant :

Mot de passe :

Date de participation :

N° de participation :

Adresse :
.....
.....
.....
.....

Tél. :
.....

Mail :

Signature (Pour les mineurs, signature des parents) :

3. LE RESPONSABLE DE L'EXPÉRIENCE

Nom :

Prénom :

Société :
.....

Adresse :
.....
.....
.....

Signature :

4. OBSERVATEUR

Nom :

Prénom :

Société :

Adresse :
.....
.....
.....

Signature



Fiche post test MonoBiManuel

Version 1.0

Auteur : Guillaume Lopicard



Test 1

Quel type de fatigue visuelle avez-vous ressenti ? (Plusieurs choix possibles)

- Aucune
 - Picotement des yeux
 - Persistance rétinienne
 - Autre (Précisez)
-

Précisez la ou les parties du haut du corps pour laquelle ou lesquelles vous avez ressenti une fatigue motrice

- Aucune
- Cou
- Dos
- Bras
- Avant bras
- Main
- Doigts

Quelle est la disposition des cibles que vous avez préférées ?

- Indifférent
- En ligne
- En deux parties sur les côtés

Classez du plus facile au plus difficile le nombre de cibles à l'aide des symboles « > », « < » et « = » (exemple : 4 = 6 > 8)

Précisez les problèmes que vous avez eus au niveau des couleurs ? (exemple : différenciation entre le rose et le violet)



Test 2

Quel type de fatigue visuelle avez-vous ressenti ? (Plusieurs choix possibles)

- Aucune
- Picotement des yeux
- Persistance rétinienne
- Autre (Précisez)

Précisez la ou les parties du haut du corps pour laquelle ou lesquelles vous avez ressenti une fatigue motrice

- Aucune
- Cou
- Dos
- Bras
- Avant bras
- Main
- Doigts

Quelle est la disposition des cibles que vous avez préférées ?

- Indifférent
- En ligne
- En deux parties sur les côtés

Classez du plus facile au plus difficile le nombre de cibles à l'aide des symboles « > », « < » et « = » (exemple : 4 = 6 > 8)

Précisez les problèmes que vous avez eus au niveau des couleurs ? (exemple : différenciation entre le rose et le violet)

Avez-vous préféré l'utilisation à 1 main ou celle à 2 mains ?

- 1 main
- 2 mains



ACCORD DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Par la présente, le participant identifié au point 2. accepte de se laisser filmer et enregistrer dans le cadre de l'expérience décrite au point 1. Les parties 3. et 4. s'engagent à la confidentialité des données enregistrées et à ne pas utiliser ces données à d'autres fins que celles en rapport avec la recherche décrite au point 1.

1. DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

Le but de ce protocole est d'analyser et de modéliser l'apprentissage d'une interface simple sur écran tactile selon différents paramètres de configuration (nombre de cercles de couleur et type de cache).

2. LE PARTICIPANT

Nom :

Prénom :

Identifiant :

Mot de passe :

Date de participation :

N° de participation :

Adresse :
.....
.....
.....

Tél. :
.....

Mail :

Signature (Pour les mineurs, signature des parents) :

3. LE RESPONSABLE DE L'EXPÉRIENCE

Nom :

Prénom :

Société :
.....

Adresse :
.....
.....
.....

Signature :

4. OBSERVATEUR

Nom :

Prénom :

Société :

Adresse :
.....
.....
.....

Signature



Fiche post test Occlusion

Version 1.0

Auteur : Guillaume Lopicard



Série 1

Quel type de fatigue visuelle avez-vous ressenti ? (Plusieurs choix possibles)

- Aucune
 - Picotement des yeux
 - Persistance rétinienne
 - Autre (Précisez)
-

Précisez la ou les parties du haut du corps pour laquelle ou lesquelles vous avez ressenti une fatigue motrice

- Aucune
- Cou
- Dos
- Bras
- Avant bras
- Main
- Doigts

Quel est le mode d'affichage que vous avez préféré ?

- Indifférent
- Barre avec transparence
- Barre opaque

Précisez les problèmes que vous avez eus au niveau des couleurs ? (exemple : différenciation entre le rose et le violet)

Quel type de stratégie pour enlever le cache avez vous utilisé ?

- Aucune
 - Enlever le cache en essayant de s'approcher le plus de la cible
 - Enlever le cache le plus rapidement possible
 - Enlever le cache en appuyant au milieu (repositionnement de la main au centre)
 - Autre
-

Numéro Utilisateur

Quelles sont les couleurs utilisées pour ce test ?

Quel est l'ordre d'apparition des couleurs de gauche à droite ?

Avez vous d'autres commentaires à nous formuler ?



Série 2

Quel type de fatigue visuelle avez-vous ressenti ? (Plusieurs choix possibles)

- Aucune
- Picotement des yeux
- Persistance rétinienne
- Autre (Précisez)

Précisez la ou les parties du haut du corps pour laquelle ou lesquelles vous avez ressenti une fatigue motrice

- Aucune
- Cou
- Dos
- Bras
- Avant bras
- Main
- Doigts

Quel est le mode d'affichage que vous avez préféré ?

- Indifférent
- Barre avec transparence
- Barre opaque

Précisez les problèmes que vous avez eus au niveau des couleurs ? (exemple : différenciation entre le rose et le violet)

Quel type de stratégie pour enlever le cache avez vous utilisé ?

- Aucune
- Enlever le cache en essayant de s'approcher le plus de la cible
- Enlever le cache le plus rapidement possible
- Enlever le cache en appuyant au milieu (repositionnement de la main au centre)
- Autre

Numéro Utilisateur

Quelles sont les couleurs utilisées pour ce test ?

Quel est l'ordre d'apparition des couleurs de gauche à droite ?

Avez vous d'autres commentaires à nous formuler ?

Série 3

Quel type de fatigue visuelle avez-vous ressenti ? (Plusieurs choix possibles)

- Aucune
 - Picotement des yeux
 - Persistance rétinienne
 - Autre (Précisez)
-

Précisez la ou les parties du haut du corps pour laquelle ou lesquelles vous avez ressenti une fatigue motrice

- Aucune
- Cou
- Dos
- Bras
- Avant bras
- Main
- Doigts

Quel est le mode d'affichage que vous avez préféré ?

- Indifférent
- Barre avec transparence
- Barre opaque

Précisez les problèmes que vous avez eus au niveau des couleurs ? (exemple : différenciation entre le rose et le violet)

Quel type de stratégie pour enlever le cache avez vous utilisé ?

- Aucune
 - Enlever le cache en essayant de s'approcher le plus de la cible
 - Enlever le cache le plus rapidement possible
 - Enlever le cache en appuyant au milieu (repositionnement de la main au centre)
 - Autre
-

Numéro Utilisateur

Quelles sont les couleurs utilisées pour ce test ?

Quel est l'ordre d'apparition des couleurs de gauche à droite ?

Avez vous d'autres commentaires à nous formuler ?



Questions portant sur toutes les séries

Classez du plus facile au plus difficile le nombre de cibles à l'aide des symboles « > », « < » et « = » (exemple : 4 = 6 > 8)

Quelles sont les couleurs utilisées pour le test à 4 couleurs ?

Quel est l'ordre d'apparition des couleurs de gauche à droite ?

Quelles sont les couleurs utilisées pour le test à 6 couleurs ?

Quel est l'ordre d'apparition des couleurs de gauche à droite ?

Quelles sont les couleurs utilisées pour le test à 8 couleurs ?

Quel est l'ordre d'apparition des couleurs de gauche à droite ?



ACCORD DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Par la présente, le participant identifié au point 2. accepte de se laisser filmer et enregistrer dans le cadre de l'expérience décrite au point 1. Les parties 3. et 4. s'engagent à la confidentialité des données enregistrées et à ne pas utiliser ces données à d'autres fins que celles en rapport avec la recherche décrite au point 1.

1. DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

Le but de ce protocole est d'analyser et de modéliser la qualité des différentes interactions tactiles proposées pour définir des guidelines de conception d'interaction.

2. LE PARTICIPANT

Nom :

Prénom :

Identifiant :

Mot de passe :

Date de participation :

N° de participation :

Adresse :
.....
.....
.....
.....

Tél. :
.....

Mail :

Signature (Pour les mineurs, signature des parents) :

3. LE RESPONSABLE DE L'EXPÉRIENCE

Nom :

Prénom :

Société :
.....

Adresse :
.....
.....
.....

Signature :

4. OBSERVATEUR

Nom :

Prénom :

Société :

Adresse :
.....
.....
.....

Signature



Fiche post test 1D

Version 1.1

Auteur : Guillaume Lepicard



Questions finales

Combien de types d'actions avez-vous utilisé ?

Pouvez-vous verbaliser ces types d'actions ?

Pouvez-vous placer ces actions sur l'interaction en grille avec 9 boutons ?

Pouvez-vous placer ces actions sur l'interaction à 3 boutons ?

--	--	--

Faut-il garder l'affichage des lettres après apprentissage ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Faut-il garder l'affichage de la grille après apprentissage ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Est-ce que les lettres sont sémantiquement pertinentes ? (ex : D pour Déplacer, etc.)

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Quel type de représentation verriez-vous pour indiquer le rôle des cases d'actions ?

- Lettres
 - Symboles
 - Autre
-
-
-

Préférez-vous la division en 3 ou 9 zones ?

- 3 zones
 - 9 zones
 - Autre
-
-
-

Est-ce que la taille des cases d'actions dans le cas de la représentation en grille de 9 est trop petite ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Fiche post test 1Dvs2D

Version 1.3

Auteur : Guillaume Lepicard



Questions finales

Combien de types d'actions avez-vous utilisé ?

Pouvez-vous verbaliser ces types d'actions ?

Pouvez-vous placer ces actions sur l'interaction en grille avec 9 boutons ?

Pouvez-vous décrire les 3 gestes à faire avec deux doigts ?

Déplacer :

Tourner :

Zoomer :

A quelle fréquence utilisez-vous un écran tactile ?

- Tous les jours
- Plusieurs fois par semaine
- Une fois par semaine
- Plusieurs fois par mois
- Une fois par mois
- Moins d'une fois par mois
- Jamais

Quels sont les appareils tactiles que vous utilisez ou avez utilisé ?

Sont-ils multitouch ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Faut-il garder l'affichage des lettres après apprentissage ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Faut-il garder l'affichage de la grille après apprentissage ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Est-ce que les lettres sont sémantiquement pertinentes ? (ex : D pour Déplacer, etc.)

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Quel type de représentation verriez-vous pour indiquer le rôle des cases d'actions ?

- Lettres
 - Symboles
 - Autre
-
-
-

Est-ce que la taille des cases d'actions dans le cas de la représentation en grille de 9 est trop petite ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Est-ce que les gestes sont sémantiquement pertinents ? (ex : pincer pour le zoom, deux doigts pour déplacer, etc.)

- Oui
 - Non
 - Précision
-
-
-

Est-ce que l'interaction multitouch est préférable si l'utilisation de deux mains est possible au lieu d'une seule ?

Pour l'action de déplacer

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Pour l'action de tourner

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Pour l'action de zoomer

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Informations supplémentaires

Résumé

Cette thèse vise à étudier l'optimisation du tactile pour les personnes âgées. Elle apporte plusieurs contributions à travers quatre chapitres.

Le premier comporte trois états de l'art qui décrivent : les déficiences liées à l'âge comme les déficiences des sens de la vision, de l'audition et du toucher, des capacités motrices et des problèmes cognitifs ; les technologies d'écran tactile avec leur histoire, leur fonctionnement et un guide pour choisir celui répondant aux besoins ; et les apports et la nécessité des gérontechnologies à base d'écran tactile.

Les chapitres II et III ont la même structure : une présentation de chacune des plateformes de test développées puis les tests associés à ces plateformes.

Le chapitre II montre l'impact, en fonction de la complexité de l'interface de commande, de la bi-manualité et de l'optimisation de l'interface pour celle-ci ainsi que l'apport d'une interface « invisible » et de son apprentissage. Il résulte de ces résultats un temps de réalisation plus long pour les personnes âgées que les jeunes adultes ainsi qu'un apport plus important de la spatialisation.

Le chapitre III présente l'apport du *multi-touch* dans la manipulation d'objet. Deux pré-études ont été réalisées pour calibrer les tests. L'expérimentation montre que les mouvements de rotation et de zoom sont plus difficiles à réaliser avec l'interaction *multi-touch* pour les personnes âgées. L'utilisation d'un doigt est plus conseillée que celle de deux pour les personnes âgées.

En conclusion, ces études ont permis de définir des recommandations de conception permettant une meilleure prise en compte des personnes âgées. Différentes perspectives sont aussi présentées.

Mot-Clés : Interaction, Ecran tactile, Personnes âgées, Utilisabilité