



**HAL**  
open science

# Rééducation des processus attentionnels : approche sur simulateur de conduite : application au traumatisme crânien et au vieillissement normal

Marjolaine Masson

► **To cite this version:**

Marjolaine Masson. Rééducation des processus attentionnels : approche sur simulateur de conduite : application au traumatisme crânien et au vieillissement normal. Médecine humaine et pathologie. Université Claude Bernard - Lyon I, 2011. Français. NNT : 2011LYO10044 . tel-00864126

**HAL Id: tel-00864126**

**<https://theses.hal.science/tel-00864126>**

Submitted on 20 Sep 2013

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

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

THÈSE DE L'UNIVERSITÉ DE LYON  
Délivrée par  
L'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON I

ÉCOLE DOCTORALE NEUROSCIENCES ET COGNITION (NSCo)  
DIPLOME DE DOCTORAT EN NEUROPSYCHOLOGIE  
(arrêté du 7 août 2006)

# RÉÉDUCATION DES PROCESSUS ATTENTIONNELS

---

Approche sur simulateur de conduite  
Application au traumatisme crânien et au vieillissement normal

Présentée et soutenue publiquement par

**Marjolaine MASSON**

Le 16 mars 2011

Sous la direction de  
**Madame le Professeur Dominique BOISSON**

Composition du jury de thèse :

M. Philippe AZOUVI. Professeur de Médecine Physique et de Réadaptation, Université de Versailles Saint Quentin, Paris. Rapporteur.  
M. Pierre-Alain JOSEPH. Professeur, Université Bordeaux 2. Rapporteur.  
M. Philippe ALLAIN. Professeur, Université d'Angers.  
M. Abiodun Emmanuel AKINWUNTAN. Professeur, Medical College of Georgia, USA  
Mme Dominique BOISSON. Professeur, Université Lyon 1.  
Mme Pascale COLLIOT. Maître de conférences, Université Lumière Lyon 2.  
M. Claude MARIN-LAMELLET. Directeur de Recherche, IFSTTAR, Lyon.



---

## RÉSUMÉ

---

### **Rééducation des processus attentionnels : Approche sur simulateur de conduite**

L'objectif de ce travail de recherche consistait à utiliser la réalité virtuelle (simulateur de conduite) afin d'améliorer les capacités attentionnelles de personnes présentant une baisse d'efficacité de ces aptitudes (en lien avec l'âge ou la survenue d'un traumatisme crânien) pouvant se répercuter sur la conduite automobile. En référence au modèle de l'attention de Van Zomeren et Brouwer (1994), quatre processus attentionnels (alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée) ont été entraînés sur simulateur de conduite lors d'un programme comprenant 9 sessions d'une heure. Un groupe contrôle a effectué un training plus conventionnel sur ordinateur. Les performances des participants (10 patients traumatisés crâniens et 16 personnes âgées de plus de 65 ans) ont été évaluées avant et après le training à partir de trois mesures : une évaluation neuropsychologique, une évaluation sur simulateur de conduite et une évaluation sur route réelle. Le bénéfice de l'entraînement sur les performances aux tests neuropsychologiques s'est avéré limité pour les deux groupes. Concernant l'évaluation sur simulateur, les résultats ont révélé une amélioration des performances plus importante pour les participants entraînés sur simulateur. En revanche, les participants ayant bénéficié du training sur ordinateur ont davantage progressé que ceux entraînés sur simulateur lors de l'évaluation sur route réelle. Les résultats ont été discutés en termes d'approche rééducative et d'automatisation des processus attentionnels. Ce travail permet de conclure quant à la nécessité de poursuivre et d'approfondir les recherches sur la réalité virtuelle et le transfert de l'apprentissage en situation de vie quotidienne.

**Mots-clés :** Rééducation – Attention – Conduite automobile – Traumatisme Crânien – Vieillesse normale – Simulateur de conduite

---

## ABSTRACT

---

### **Rehabilitation of attentional processes: A driving simulator approach**

The aim of this research was to investigate the role of the virtual reality in the improvement of attentional processes and driving competence. A driving simulator was used in order to train people with attentional impairments, like Traumatic Brain Injury (TBI) patients or elderly people. The theoretical frame suggested by Van Zomeren and Brouwer (1994) was used in order to train four attentional processes (phasic alert, vigilance, selective attention and divided attention). Ten TBI patients and 16 elderly people entered a 3-week 9-hour training program in which they were randomly allocated to either an experimental (simulator-based training) or control (computer-based training) group. Performance in off-road evaluations (neuropsychological and driving simulator tests) and on-road test were used to assess the driving ability of subjects pre- and post-training. Both groups improved in many neuropsychological evaluations. Significant improvements in driving simulator test were found in favor of the experimental group. However, improvements were greater for the control group regarding the on-road test. Results were discussed in terms of rehabilitation approach and automatic vs control processing theory. This study offers future research possibilities concerning the improvement of knowledge on virtual reality and learning transfer in daily activities.

**Keywords:** Rehabilitation – Attention – Driving – Traumatic brain injury – Normal aging – Driving simulator



# REMERCIEMENTS

*Je souhaite tout d'abord remercier M. Philippe Azouvi et M. Pierre-Alain Joseph qui me font l'honneur de juger ce travail de thèse, au titre de rapporteurs. Merci également à M. Philippe Allain d'avoir suivi avec autant d'intérêt cette recherche en tant que membre du comité de suivi de thèse d'une part, et membre du jury de thèse d'autre part. Enfin, un grand merci à M. A. Emmanuel Akinwuntan, dont les recherches ont amplement inspiré ce travail de thèse.*

*Une thèse est un aboutissement mais aussi un cheminement, l'aboutissement résulte d'une personne mais le cheminement se construit grâce à l'influence de plusieurs personnes rencontrées durant ce périple. Ainsi, je tiens à remercier un grand nombre de personnes sans qui ce travail n'aurait pu être possible.*

*Mes premiers remerciements vont à Mme Dominique Boisson pour avoir accepté de diriger cette thèse et d'avoir permis une collaboration avec l'hôpital Henry Gabrielle.*

*Je remercie particulièrement Claude Marin-Lamellet d'avoir proposé cette étude de recherche, mais surtout de m'avoir permis une appropriation de la thématique de départ. Merci de m'avoir écouté, toujours soutenu et d'avoir accepté l'évolution de certains points théoriques en fonction de mes aspirations attentionnelles (au sens spécifique du terme...).*

*Je tiens à remercier vivement Pascale Colliot de m'avoir encadré et suivi pendant ces cinq dernières années. Grâce à votre rigueur professionnelle, vos remarques, toujours pertinentes, et votre investissement dans ce travail de thèse, vous avez incontestablement contribué à son aboutissement. Enfin, merci de m'avoir formé à la recherche et transmis le goût de la neuropsychologie.*

*Merci à George Michael de m'avoir aidé dans les moments de « doutes statistiques », et de m'avoir permis d'utiliser certains tests informatisés développés par ses soins. Merci d'avoir toujours pu m'accorder du temps pour répondre à mes questions. George Michael ou l'étude du cas unique...*

*C'est ici, au LESCOT, que je laisse mes meilleurs souvenirs. Je remercie tout d'abord Corinne Brusque, la directrice, pour son soutien durant ce parcours et de permettre un confort de travail irréprochable. Merci à Laurence Paire-Ficout pour la relecture de certains chapitres et pour la vitesse à laquelle les retours ont été effectués. Merci aux autres chercheurs ou ingénieurs du laboratoire m'ayant proposé leur aide malgré leur charge de travail personnel (Catherine, Joceline, Thierry, Virginie, Christophe, Arnaud, Alex...). Merci à Hélène de m'avoir tenu compagnie lors des nombreuses soirées passées au laboratoire.*

*Merci à toute l'équipe du LEPSIS : Isabelle Aillerie pour m'avoir formé à la programmation informatique ; Fabrice, Vanessa et Jackie, pour leur aide lors de la conception de certains scénarios et la création d'image ; Max pour avoir fait en sorte que le simulateur de conduite « tombe en marche » le plus souvent possible ; et enfin un grand merci à Daniel pour sa disponibilité à toute heure et son aide quant à la résolution des problèmes techniques.*

*Parce que la partie expérimentale n'aurait pas pu se réaliser sans la participation active de l'hôpital Henry Gabrielle, je tiens à remercier tout d'abord le Dr. Jacques Luauté*

*d'avoir grandement contribué à l'inclusion des patients traumatisés crâniens ; les neuropsychologues Jean-Yves Bar et Stuart Nash pour la réalisation des bilans neuropsychologiques ; et enfin un grand merci à Christine Pramayon, secrétaire du Pr. Boisson, pour avoir su gérer les nombreuses questions administratives auxquelles je me suis retrouvée confrontée et pour son implication personnelle dans cette recherche. Christine vous êtes une secrétaire en or !*

*Merci à l'ADAPT et plus particulièrement à Anne Truche et Katia Sciessere, pour l'intérêt porté à l'étude et l'aide apportée pour l'inclusion de certains patients traumatisés crâniens.*

*Je tiens également à remercier l'auto-école OUEST et plus particulièrement Mylène Liaudon d'avoir accepté de collaborer à l'étude, d'avoir pris le temps de découvrir la grille d'observation de la conduite et d'avoir adapté ses horaires en fonction des disponibilités des participants.*

*Un grand merci à M. Xavier Alexandre, directeur France de l'entreprise Schuhfried, pour nous avoir prêté le logiciel CogniPlus qui permet d'entraîner l'attention sur ordinateur.*

*Merci également à M. Wiebo Brouwer pour nous avoir prêté la dernière version de la grille d'observation de la conduite TRIP utilisée dans cette étude.*

*Merci aux deux personnes qui ont permis de diminuer le nombre de fautes d'orthographe de manière statistiquement significative\* : R.B. et Yza.*

*Je remercie également tous les participants de cette étude (les patients traumatisés crâniens et les personnes âgées) qui se sont portés volontaires et ont contribué aux résultats.*

*La recherche ne peut être sans fonds. Le travail présenté a été financé par l'INRETS (devenu IFSTTAR au 1<sup>er</sup> janvier 2011).*

*D'un point de vue plus personnel maintenant, je remercie mes amis de « galère » : mon p'tit Lu pour sa bonne humeur perpétuelle, son humour et sa joie de vivre ; mon fiston Xav pour sa compassion et sa sympathie. Enfin, un grand merci à Baldinou, d'avoir toujours été là pour moi et surtout d'avoir supporté mon comportement bipolaire de ces derniers mois...toi-même tu sais ! Julie et barbie, pour partager et surtout comprendre les moments difficiles autant que les moments de joie de la vie de thésard. Évidemment un merci particulier à ma colocataire de bureau, pour avoir supporté de travailler cloîtré pendant trois mois, pour avoir accepté certaines règles de silence imposées et pour toutes ses corrections toujours effectuées avec minutie. Maud, je te remercie sincèrement pour ton empathie, ta sensibilité et ton amitié.*

*Enfin, mes amis non thésards (mais compréhensifs quand même) : Isa, Betty, les nicos (Karm, prince William), pour avoir pris des nouvelles de l'avancement de la thèse ; et Lucie & Mimo pour leurs visites imprévues et leur soutien.*

*Enfin je remercie ma famille pour m'avoir épaulé, écouté et encouragé ; et Renaud pour sa patience et son indéniable bienveillance.*

# **TABLE DES MATIERES**

<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>11</b>
<b>INDEX DES FIGURES .....</b>	<b>13</b>
<b>INDEX DES TABLEAUX.....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>19</b>
<b>CHAPITRE 1 - CONTEXTE THÉORIQUE .....</b>	<b>25</b>
I.    PROCESSUS ATTENTIONNELS ET CONDUITE AUTOMOBILE .....	27
1. <i>Psychologie cognitive de l'attention</i> .....	27
1.1    L'intensité de l'attention.....	29
1.2    La sélectivité de l'attention.....	30
1.3    CorrélatS neuronaux .....	32
2. <i>Le rôle de l'attention dans la conduite automobile</i> .....	34
2.1    Définition de l'activité de conduite .....	34
2.2    Implication des processus attentionnels en conduite.....	34
2.3    Modélisation de l'activité de conduite.....	37
II.   TRAUMATISME CRÂNIEN ET CONDUITE AUTOMOBILE.....	39
1. <i>Qu'est-ce qu'un traumatisme crânien ?</i> .....	39
1.1    Généralités sur le traumatisme crânien.....	39
1.2    Neuropsychologie du traumatisme crânien.....	44
1.3    Récupération fonctionnelle spontanée.....	53
2. <i>Conduire après un traumatisme crânien</i> .....	55
2.1    Législation française.....	55
2.2    Données accidentologiques .....	57
2.3    Évaluation des performances de conduite après un traumatisme crânien .....	59
2.4    Structures d'évaluation des performances de conduite des patients traumatisés crâniens .....	74
III.  RÉÉDUCATION COGNITIVE .....	77
1. <i>Historique de la rééducation</i> .....	77
2. <i>Les différents modes de rééducation cognitive</i> .....	79
2.1    Les objectifs de la rééducation cognitive .....	79
2.2    Deux approches rééducatives dans le training cognitif .....	81
2.3    L'importance du feedback dans la rééducation .....	82
3. <i>Rééducation de l'attention (approche restauratrice)</i> .....	83
3.1    Introduction à la rééducation de l'attention.....	83
3.2    Programmes de rééducation attentionnelle.....	85
4. <i>Rééducation spécifique de la compétence de conduite automobile (approche fonctionnelle et/ou restauratrice)</i> .....	95
4.1    Training visuo-perceptif ou visuel .....	95
4.2    Training avec l'Useful Field of View (UFOV).....	97
4.3    Training avec un ordinateur .....	99
4.4    Training avec un simulateur de conduite.....	100
4.5    Training moteur avec un véhicule électrique motorisé .....	105
4.6    Training sur route réelle.....	106
4.7    Intervention éducationnelle .....	107
4.8    Training physique.....	108
<b>CHAPITRE 2 – OBJECTIFS DE LA RECHERCHE .....</b>	<b>115</b>
I.    PROBLÉMATIQUES ET HYPOTHÈSES.....	116
II.   EXPLICATION DES CHOIX MÉTHODOLOGIQUES – LA THÉORIE COMME MÉTHODOLOGIE.....	118
1. <i>Rééducation à visée restauratrice vs rééducation à visée fonctionnelle</i> .....	118
2. <i>Une évaluation multiple avant et après le training</i> .....	119
3. <i>Paradigme d'évaluation en rééducation</i> .....	120
4. <i>Deux types de training vs un seul training</i> .....	121
5. <i>Choix du support de training</i> .....	121
6. <i>Un training identique pour les deux types de population</i> .....	122
7. <i>La durée du training</i> .....	122



8.	<i>Le feedback comme partie intégrante du training</i> .....	123
9.	<i>Expérimentation en double aveugle</i> .....	123
10.	<i>Inclusion des patients avec traumatisme crânien</i> .....	124
<b>CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE</b> .....		<b>125</b>
I.	LES PARTICIPANTS.....	127
1.	<i>Critères généraux de sélection des participants</i> .....	127
2.	<i>Caractéristiques des patients traumatisés crâniens</i> .....	128
3.	<i>Caractéristiques des personnes âgées</i> .....	129
II.	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	130
1.	<i>Évaluation pré-training</i> .....	130
1.1	Bilan neuropsychologique.....	130
1.2	Évaluation sur simulateur de conduite .....	133
1.3	Évaluation sur route.....	136
2.	<i>Training attentionnel</i> .....	138
2.4	Training avec simulateur de conduite.....	138
2.5	Training avec ordinateur .....	145
3.	<i>Évaluation post-training</i> .....	148
4.	<i>Procédure</i> .....	148
III.	PLAN EXPÉRIMENTAL ET ANALYSES STATISTIQUES.....	150
1.	<i>Plan expérimental</i> .....	150
1.1	Plan expérimental général .....	150
1.2	Plan expérimental du training attentionnel .....	150
2.	<i>Analyses statistiques</i> .....	150
<b>CHAPITRE 4 : RÉSULTATS</b> .....		<b>153</b>
I.	RÉSULTATS DES PATIENTS TRAUMATISÉS CRÂNIENS.....	155
1.	<i>Résultats de l'évaluation neuropsychologique</i> .....	155
1.1	Comparaison des résultats à la norme.....	155
1.2	Résultats statistiques .....	157
2.	<i>Résultats de l'évaluation sur simulateur de conduite</i> .....	159
2.1	Groupe entraîné sur simulateur de conduite.....	159
2.2	Groupe entraîné sur ordinateur .....	160
2.3	Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants) .....	160
3.	<i>Résultats de l'évaluation sur route</i> .....	162
3.1	Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP).....	162
3.2	Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): scores complémentaires.....	164
4.	<i>Synthèse des résultats des patients traumatisés crâniens</i> .....	165
II.	RÉSULTATS DES PERSONNES ÂGÉES.....	167
1.	<i>Résultats de l'évaluation neuropsychologique</i> .....	167
1.1	Comparaison des résultats à la norme.....	167
1.2	Résultats statistiques .....	169
2.	<i>Résultats de l'évaluation sur simulateur de conduite</i> .....	171
2.1	Groupe entraîné sur simulateur de conduite.....	171
2.2	Groupe entraîné sur ordinateur .....	172
2.3	Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants) .....	173
3.	<i>Résultats de l'évaluation sur route</i> .....	174
3.1	Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): grille .....	174
3.2	Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): scores complémentaires.....	176
4.	<i>Synthèse des résultats des personnes âgées</i> .....	178
III.	ANALYSES INDIVIDUELLES ET CHRONOLOGIQUES DES PERFORMANCES AU TRAINING CHEZ LES PATIENTS TRAUMATISÉS CRÂNIENS .....	180
1.	<i>Training sur simulateur de conduite</i> .....	181
1.1	Patient 1.....	181
1.2	Patient 2.....	188
1.3	Patient 3.....	194
1.4	Patient 4.....	200
1.5	Patient 5.....	205
1.6	Synthèse des résultats du groupe simulateur .....	209
2.	<i>Training sur ordinateur</i> .....	211

2.1	Caractéristiques des patients.....	212
2.2	Tâche d'alerte phasique.....	212
2.3	Tâche de vigilance.....	214
2.4	Tâche d'attention sélective.....	215
2.5	Tâche d'attention divisée.....	216
2.6	Synthèse des résultats du groupe ordinateur.....	217
<b>CHAPITRE 5 - DISCUSSION .....</b>		<b>219</b>
I.	DISCUSSION SUR L'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES EN FONCTION DU TYPE DE <i>TRAINING</i> .....	220
1.	<i>Comparaison des performances entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur aux tests neuropsychologiques.....</i>	221
2.	<i>Comparaison des performances entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur aux tests sur simulateur de conduite.....</i>	225
3.	<i>Comparaison des performances entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur au test sur route 229</i>	
II.	DISCUSSION SUR L'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES AU COURS DU <i>TRAINING</i> .....	236
III.	CRITIQUES MÉTHODOLOGIQUES.....	241
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>		<b>247</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>		<b>253</b>
<b>ANNEXES.....</b>		<b>269</b>



# GLOSSAIRE

APT = Amnésie Post-Traumatique  
*Baseline* = Ligne de base. Évaluation avant entraînement  
BEC 96 = Batterie d'Évaluation Cognitive  
BREF = Batterie Rapide d'Efficiace Frontale  
CARA = Centre d'évaluation de l'Aptitude à la conduite et d'Adaptation des véhicules (en Belgique)  
CIF = Classification Internationale du Fonctionnement du handicap et de la santé  
FE = Fonctions Exécutives  
CIH = Classification Internationale du Handicap  
*Follow-up* = Évaluation effectuée à distance du *training* pour vérifier la stabilité de l'amélioration potentielle (étude de suivi)  
*GCS* = *Glasgow Coma Scale*. Échelle de Coma de Glasgow  
*GOAT* = *Galveston Orientation and Amnesia Test*. Permet de déterminer la sortie d'APT  
*GOS* = *Glasgow Outcome Scale*. Échelle de suivi de Glasgow  
IRMf = Imagerie par Résonance Magnétique et fonctionnelle  
*ISI* = Intervalle inter stimuli  
*MDPE* = *California Modified Driving Performance Evaluation*  
MDT = Mémoire De Travail  
*MMSE* = *Mini Mental State Examination*  
*NDT* = *Neurocognitive Driving Test*  
*Off-road* = méthode d'évaluation des compétences de conduite hors route (évaluation neuropsychologique ou sur simulateur de conduite)  
OMS = Organisation Mondiale de la Santé  
ONISR = Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière  
*Outcome* (mesure) = Évaluation de sortie  
*PASAT* = *Paced Auditory Serial Addition Test*  
*RCT* = *Randomized Controlled trial*  
*SDSA* = *Stroke Drivers Screening Assessments*  
TC = Traumatisme Crânien  
TEA = Test d'Évaluation de l'Attention  
*TMT* = *Trail Making Test*  
TR = Temps de Réponse  
*TRIP* = *Test Ride for Investigating Practical fitness to drive*  
*UFOV* = *Useful Field Of View*  
*WAIS* = *Wechsler Adult Intelligence Scale*  
*WURT* = *Washington University Road Test*



## **INDEX DES FIGURES**

<i>Figure 1. Modèle attentionnel (adapté d'après Van Zomeren &amp; Brouwer, 1994)</i> .....	28
<i>Figure 2. Continuum Vigilance – Attention soutenue (adapté d'après Leclercq &amp; Zimmerman, 2000)</i> .....	30
<i>Figure 3. Vues du simulateur INRETS installé à l'hôpital Henry Gabrielle</i> .....	134
<i>Figure 4. Vues de la tâche d'alerte phasique sur simulateur</i> .....	138
<i>Figure 5. Paradigme expérimental de la tâche d'alerte phasique</i> .....	140
<i>Figure 6. Vues de la tâche de vigilance sur simulateur</i> .....	141
<i>Figure 7. Vues de la tâche d'attention sélective sur simulateur</i> .....	142
<i>Figure 8. Vue du contexte routier de la tâche d'attention divisée sur simulateur</i> .....	143
<i>Figure 9. Vue de la tâche d'alerte phasique sur ordinateur</i> .....	146
<i>Figure 10. Vue de la tâche de vigilance sur ordinateur</i> .....	146
<i>Figure 11. Vue de la tâche d'attention sélective sur ordinateur</i> .....	147
<i>Figure 12. Vue des trois écrans de contrôle lors de la tâche d'attention divisée sur ordinateur</i> .....	148
<i>Figure 13. Comparaison des temps de réponse au TMT B et Mesulam désorganisé entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training chez les patients entraînés sur ordinateur</i> .....	158
<i>Figure 14. Comparaison du gain entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation sur simulateur (parcours 1)</i> .....	161
<i>Figure 15. Comparaison du gain entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation sur simulateur (parcours 2)</i> .....	161
<i>Figure 16. Comparaison des résultats au test d'alerte phasique et Go/No-go (TEA) entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training, en fonction du groupe de training</i> .....	170
<i>Figure 17. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'ouverture de portière sur simulateur de conduite entre le pré-test et le post-test, en fonction du type de training</i> .....	173
<i>Figure 18. Comparaison du gain obtenu à l'évaluation sur route entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur</i> .....	176
<i>Figure 19. Comparaison des scores complémentaires entre le pré-test et le post-test en fonction du groupe de training</i> .....	178
<i>Figure 20 : Evolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 1)</i> .....	181
<i>Figure 21. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patient 1)</i> .....	183
<i>Figure 22. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 1)</i> .....	184
<i>Figure 23. Effet principal du type de tâche, du franchissement et de la session (Patient 1)</i> .....	185
<i>Figure 24. Interaction entre la session de training et le type de tâche (Patient 1)</i> .....	185
<i>Figure 25. Evolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 1)</i> .....	186
<i>Figure 26. Interaction entre les sessions de training et la condition expérimentale (Patient 1)</i> .....	187
<i>Figure 27. Evolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 1)</i> ....	187
<i>Figure 28. Evolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 2)</i> .....	189
<i>Figure 29. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'alerte en fonction du temps d'alerte (Patient 2)</i> ...	189
<i>Figure 30. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patient 2)</i> .....	190
<i>Figure 31. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 2)</i> .....	191
<i>Figure 32. Effet principal du type de tâche, du côté du franchissement et de la session (Patient 2)</i> .....	191
<i>Figure 33. Interaction entre le type de tâche et la latéralité de la ligne franchie (Patient 2)</i> .....	192
<i>Figure 34. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 2)</i> .....	192
<i>Figure 35. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 2)</i> .....	193
<i>Figure 36. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition (Patient 2)</i> .....	193
<i>Figure 37. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 3)</i> .....	195
<i>Figure 38. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'alerte phasique en fonction du temps d'alerte (Patient 3)</i> .....	195
<i>Figure 39. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patiente 3)</i> .....	196
<i>Figure 40. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 3)</i> .....	197
<i>Figure 41. Effet principal du type de tâche, du côté du franchissement et de la session (Patient 3)</i> .....	197
<i>Figure 42. Interaction entre le type de tâche et la latéralité de la ligne franchie (Patient 3)</i> .....	198

Figure 43. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 3) .....	198
Figure 44. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 3).....	199
Figure 45. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 3) ...	199
Figure 46. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 4).....	201
Figure 47. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patient 4).....	202
Figure 48. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 4)	202
Figure 49. Effet principal du côté du franchissement de ligne (Patient 4) .....	203
Figure 50. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 4) .....	203
Figure 51. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 4).....	204
Figure 52. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 4) ...	204
Figure 53. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 5).....	205
Figure 54. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patient 5).....	206
Figure 55. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 5)	207
Figure 56. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 5) .....	207
Figure 57. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 5).....	208
Figure 58. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 5) ...	208
Figure 59. Évolution de l'alerte phasique pour le groupe simulateur .....	211
Figure 60. Temps de réponse à la tâche d'alerte phasique du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens .....	213
Figure 61. Evolution du niveau de difficulté à la tâche d'alerte phasique durant les neuf sessions de training pour les cinq patients traumatisés crâniens .....	213
Figure 62. Temps de réponse à la tâche de vigilance du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens.....	214
Figure 63. Temps de réponse à la tâche d'attention sélective du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens .....	215
Figure 64. Evolution du niveau de difficulté à la tâche d'attention sélective durant les neuf sessions de training pour les cinq patients traumatisés crâniens.....	216
Figure 65. Evolution du temps de réponse et du niveau de difficulté à la tâche d'attention divisée du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens .....	217
Figure 66. Temps de réponse et niveaux de difficulté atteint aux quatre tests attentionnels du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training .....	218

## **INDEX DES TABLEAUX**

Tableau 1. Echelle de coma de Glasgow (d'après Mazaux & Joseph, 2000, p.33) .....	42
Tableau 2. Sévérité du traumatisme crânien selon la durée de l'APT .....	42
Tableau 3. Récapitulatif des études portant sur la rééducation de l'attention (approche restauratrice).....	93
Tableau 4. Récapitulatif des études portant sur la rééducation de la compétence de conduite (approche fonctionnelle et/ou restauratrice).....	111
Tableau 5. Caractéristiques individuelles des patients traumatisés crâniens selon leur groupe.....	128
Tableau 6. Caractéristiques du traumatisme crânien pour chaque patient.....	128
Tableau 7. Age, sexe, niveau socio-culturel et critères d'inclusion des sujets âgés.....	129
Tableau 8. Déroulement du protocole en fonction du type de training .....	149
Tableau 9. Randomisation des quatre tâches attentionnelles pour tout type de training.....	149
Tableau 10. Nombre de patients ayant un score pathologique aux tests papier-crayon.....	155
Tableau 11. Nombre de patients ayant un score pathologique aux tests papier-crayon.....	156
Tableau 12. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe simulateur) .....	156
Tableau 13. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe ordinateur) .....	157
Tableau 14. Comparaison des performances sur simulateur de conduite entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe simulateur.....	159
Tableau 15. Comparaison des performances sur simulateur de conduite entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe ordinateur.....	160
Tableau 16. Comparaison des performances sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe simulateur.....	163
Tableau 17. Comparaison des performances sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe ordinateur.....	163
Tableau 18. Comparaison des scores complémentaires de l'évaluation sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe simulateur .....	164
Tableau 19. Comparaison des scores complémentaires de l'évaluation sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe ordinateur.....	164
Tableau 20. Nombre de personnes âgées ayant un score pathologique aux tests papier-crayon .....	167
Tableau 21. Nombre de personnes âgées ayant un score pathologique aux tests papier-crayon .....	167
Tableau 22. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe simulateur) .....	168
Tableau 23. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe ordinateur) .....	168
Tableau 24. Comparaison des performances sur simulateur de conduite entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe simulateur .....	171
Tableau 25. Comparaison des performances sur simulateur de conduite entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe ordinateur .....	172
Tableau 26. Comparaison des performances sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe simulateur .....	174
Tableau 27. Comparaison des performances sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe ordinateur .....	175
Tableau 28. Comparaison des performances sur route en pré-test entre les personnes âgées du groupe ordinateur et celles du groupe simulateur .....	175
Tableau 29. Comparaison du gain obtenu à l'évaluation sur route entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur .....	176
Tableau 30. Comparaison des scores complémentaires de l'évaluation sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe simulateur.....	177
Tableau 31. Significativité statistique des scores complémentaires au test sur route entre le pré-test et le post-test pour les personnes âgées du groupe ordinateur.....	177
Tableau 32. Évolution des performances attentionnelles des cinq patients au cours du training sur simulateur de conduite .....	210





***“Brain is plastic: use it or lose it”***



# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**



La conduite automobile est, de nos jours, indispensable et souvent synonyme d'indépendance et de liberté. Cependant, elle reste une activité dangereuse dans la mesure où les accidents de la voie publique sont encore nombreux. Les causes des accidents sont multiples et variées et peuvent notamment impliquer un défaut d'attention (Chapon, 2006).

L'attention est un processus cognitif qui intervient dans la quasi-totalité de nos actions et constitue un pré-requis à l'exercice de toute autre fonction cognitive (Van Zomeren & Brouwer, 1994). Ainsi, elle tient une place importante dans les activités de vie quotidienne, comme par exemple, la conduite automobile (Brouwer, 2002a). Celle-ci est une activité dynamique, complexe, dont l'exécution n'est possible que grâce au fonctionnement simultané et coordonné de multiples processus cognitifs. Une baisse de l'efficacité attentionnelle peut donc avoir un impact sur les performances en conduite automobile (Brouwer, Withaar, Tant, & Van Zomeren, 2002). L'attention est largement impliquée lors des accidents de la route : il peut s'agir par exemple d'un conducteur qui n'a pas prêté attention au piéton, au vélo, au feu tricolore, à la présence d'un stop, etc. Un conducteur engagé dans une double tâche (conversation téléphonique ou avec un passager, manipulation de la radio...) va dévier son attention du contexte routier et ceci peut également représenter un risque d'accidents. La baisse de vigilance peut aussi être la cause de multiples accidents, et notamment lorsqu'elle est due à une privation de sommeil. Selon les données de l'Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière (ONISR), les jeunes de 18-24 ans constituent une classe d'âge surreprésentée dans les accidents de la route (21,1% des tués en 2009). Les personnes âgées de plus de 65 ans sont moins souvent victimes d'un accident de la circulation (18,6%) mais les conséquences de ces accidents sont plus souvent mortelles.

Les accidents de la route constituent l'étiologie principale d'un traumatisme crânien. Les troubles de l'attention font partie des conséquences les plus fréquentes d'un dysfonctionnement cérébral, notamment dans le cas d'un traumatisme crânien (Azouvi, Couillet, & Agar, 1998). Après avoir été très longtemps négligés au profit des séquelles motrices, les troubles attentionnels consécutifs à un traumatisme crânien sont de mieux en mieux considérés par les équipes soignantes. Par ailleurs, les patients traumatisés crâniens ont une haute considération de l'activité de conduite automobile, pour qui, la reprise de cette activité représente un élément important, voire indispensable à leur autonomie et à la réinsertion sociale voire professionnelle. La conduite automobile peut même être considérée comme partie intégrante du processus de réhabilitation sociale (Rapport, Hanks, & Bryer, 2006). Les médecins, les thérapeutes, doivent ainsi faire face à une demande très forte et de plus en plus prégnante des patients, concernant les possibilités de reprise de la conduite automobile. Or, aujourd'hui, les praticiens ne disposent pas d'outils permettant de donner des éléments de réponses aux patients en dehors d'une mise en situation réelle de conduite. En effet, un patient peut par exemple obtenir de bons résultats à des tests neuropsychologiques classiques et pourtant rencontrer des difficultés dans des situations complexes de la vie quotidienne (comme la conduite automobile). Cependant, une évaluation sur route réelle ne permet pas de contrôler les situations auxquelles le patient va être confronté, ni d'observer son comportement dans des situations imprévues. De plus, la mise en situation sur route est souvent traumatisante pour les patients, pour qui le traumatisme crânien a majoritairement fait suite à un accident de la route. Enfin, très peu de centres proposent aux patients une prise en charge des troubles attentionnels dans une problématique de reprise de la conduite automobile.

L'accès à la conduite automobile est également une condition importante pour l'autonomie des personnes âgées, toujours en quête de mobilité. Par ailleurs, depuis le début du XXIème siècle, la population des personnes âgées de plus de 65 ans ne fait qu'augmenter, entraînant un accroissement considérable du nombre de conducteurs âgés. Or, au cours du vieillissement normal, il n'est pas rare d'observer une diminution de l'efficacité attentionnelle (Hartley, 1992). Les données disponibles dans la littérature concernant les troubles attentionnels au cours du vieillissement normal et suite à un traumatisme crânien sont nombreuses et permettent de réaliser un rapprochement entre les difficultés rencontrées dans ces deux populations. Ainsi, de nombreux auteurs se sont interrogés sur le maintien de la capacité de conduite des conducteurs âgés et des patients cérébro-lésés et bon nombre de travaux se sont intéressés à l'utilité de programmes de stimulation cognitive.

Notre réflexion dans le cadre de ce travail a donc porté sur l'intérêt que peut représenter la mise en place d'un programme d'entraînement (training), plutôt qu'une évaluation des performances de conduite. Un premier élément de réponse est le fait qu'une évaluation est un traitement qui arrive en fin de parcours, alors que le training représente une thérapie réalisée en amont et peut ainsi avoir une influence sur le comportement de l'individu lors de l'apparition d'une situation considérée comme dangereuse. Ainsi, un training peut aboutir à une modification du comportement, contrairement à l'évaluation. C'est en quelque sorte un pari sur l'avenir, qui selon nous, permettrait de proposer une nouvelle organisation de la prise en charge des personnes présentant une diminution de l'efficacité attentionnelle. Dans cette recherche, nous ne nous sommes pas intéressés à l'entraînement des habiletés de conduite mais à celui des processus attentionnels impliqués en conduite automobile.

La rééducation est une prise en charge clinique qui favorise la mise en jeu des processus de compensation et améliore la récupération cognitive (Mazaux & Joseph, 2000). Elle peut s'intéresser à l'amélioration du processus cognitif déficitaire, ou à l'amélioration fonctionnelle d'une habileté spécifique. La plasticité cérébrale est à la base de tout apprentissage et représente ainsi le mécanisme physiologique permettant d'observer les bénéfices d'une rééducation (Robertson & Murre, 1999). L'évaluation de l'efficacité de la rééducation est complexe. En effet, elle peut être réalisée grâce à des tests neuropsychologiques, ou l'observation d'un transfert de l'apprentissage dans une ou plusieurs situations de la vie quotidienne (Seron, 2000). La diversité méthodologique est importante dans la littérature traitant de la rééducation. Dans notre étude, l'approche est principalement restauratrice dans la mesure où elle vise l'amélioration de l'efficacité attentionnelle et par voie de conséquence, l'amélioration de la compétence de conduite. Cependant, pour être au plus proche d'une situation de vie quotidienne, la rééducation a été effectuée sur un outil plus écologique que des tests papier-crayon, un simulateur de conduite.

L'hypothèse sous-jacente étant qu'un training plus écologique facilite le transfert de l'apprentissage en vie quotidienne.

L'objectif de cette recherche n'est en aucun cas d'accélérer la reprise de la conduite automobile chez les patients traumatisés crâniens ou de retirer le permis chez les personnes âgées, mais de permettre une conduite plus sécuritaire chez des personnes ayant une diminution de leurs capacités attentionnelles.

Ce document est composé de cinq chapitres faisant référence au contexte théorique, aux objectifs de la recherche, à la méthodologie, aux résultats et à la discussion.

Le contexte théorique est lui-même scindé en trois parties. Dans un premier temps, nous parlerons de l'attention comme une entité multiple et feront référence aux différents processus attentionnels qu'elle intègre. L'activité de conduite automobile sera ensuite définie en relation au concept d'attention. Dans un second temps, nous aborderons spécifiquement la pathologie du traumatisme crânien et les diverses séquelles pouvant se répercuter sur l'activité de conduite automobile. Enfin, nous exposerons les différentes techniques utilisées pour améliorer l'efficacité attentionnelle ou les habiletés de conduite des personnes présentant une diminution des capacités attentionnelles, suite à un traumatisme crânien ou au cours du vieillissement normal.

Le deuxième chapitre présentera la problématique à l'origine de cette étude, les objectifs de ce travail de thèse, et les hypothèses. Les choix méthodologiques seront également argumentés en fonction de points théoriques spécifiques.

Le chapitre portant sur la méthodologie consistera à présenter les caractéristiques des participants d'une part, et à détailler le matériel et la méthode utilisés à la fois pour le training et pour l'évaluation pré et post-training d'autre part. Le plan expérimental sera également mentionné.

Le quatrième chapitre de ce travail sera consacré à l'analyse des résultats obtenus par les patients traumatisés crâniens et les personnes âgées. L'analyse portera essentiellement sur la comparaison entre les performances obtenues à l'évaluation pré et post-training. L'évolution des performances des patients avec traumatisme crânien au cours du training attentionnel sera ensuite analysée de manière individuelle.

Enfin, lors du dernier chapitre, nous discuterons des résultats au regard du contexte théorique. Les points forts ainsi que les limites de l'étude seront mentionnés, permettant d'ouvrir sur plusieurs perspectives de recherches futures.





# **CHAPITRE 1 - CONTEXTE THÉORIQUE**



“Everyone knows what attention is.  
It is the taking possession by the mind,  
in clear and vivid form, of one out of what seem  
several simultaneously possible objects or train of thoughts”  
(William James, 1890)

## I. PROCESSUS ATTENTIONNELS ET CONDUITE AUTOMOBILE

### 1. Psychologie cognitive de l'attention

L'attention est un concept vaste et un phénomène complexe ; l'activité humaine la sollicite à tout moment puisqu'elle est présente dans la quasi-totalité de nos activités. S'il existe un certain consensus sur ce que recouvre la notion d'attention pour le sens commun, formuler une définition scientifique précise et univoque s'avère plus problématique. L'usage courant lui donne une valeur particulière dans le comportement de l'individu (Siéroff, 2002). D'une façon générale, l'attention réfère à l'orientation de l'activité par des buts qui a pour effet d'augmenter l'efficacité des processus de prise d'information et d'exécution de l'action. Cela correspond à une optimisation du traitement de l'information (Rousseaux, Cabaret, Bernati, Saj, & Kozlowski, 2006) : mieux percevoir, concevoir, distinguer et mémoriser. Ce concept est absolument essentiel et pertinent pour l'individu puisqu'il est interconnecté au domaine sensoriel, moteur et même à celui de la pensée (Näätänen, 1992). Les fonctions attentionnelles se définissent donc en tant que fonctions de contrôle et d'intégration en interaction avec tous les autres systèmes cognitifs, d'où la difficulté de les délimiter avec exactitude. L'attention est requise quel que soit le type d'activité cognitive dans laquelle nous sommes engagés (Camus, 2003), ce qui souligne l'importance de son rôle au cours de la vie quotidienne.

En psychologie cognitive, la définition de l'attention la plus connue et la plus citée est celle de William James (1890) : « [L'attention est] la prise de possession par l'esprit sous une forme claire et vivace d'un objet ou d'un flux de pensées parmi d'autres simultanément possibles. La focalisation, la concentration de l'esprit et la conscience en constituent l'existence ». Selon cet auteur, l'attention permettrait donc de maintenir en conscience un événement ou une information afin de la traiter de façon appropriée. James (1890) a également introduit la première distinction fondamentale entre l'attention volontaire et l'attention involontaire. Posner (1980) a ensuite repris cette dichotomie dans un contexte d'orientation de l'attention. Selon l'auteur, l'étape qui précède tout traitement de l'information est le fait d'orienter son attention sur l'objet à traiter ; et cette orientation peut s'effectuer de façon automatique ou contrôlée. Afin d'illustrer cette notion d'orientation, il emploie la métaphore d'un phare ou de faisceaux lumineux pour donner une image de la fenêtre attentionnelle qui se déplace dans l'espace et qui éclairerait certains lieux (centres d'intérêts) laissant ou mettant dans l'ombre les autres. Il parle d'orientation endogène versus exogène de l'attention. L'attention exogène est capturée par l'arrivée impromptue dans le champ visuel d'un stimulus inattendu, correspondant ainsi à une forme automatique d'orientation attentionnelle déclenchée par une stimulation externe. Ce sont les différences locales (couleur, forme, luminance...) d'un stimulus qui captureraient involontairement l'attention (Yantis & Jonides, 1990). L'attention endogène, quant à elle, constitue une orientation délibérée et intentionnelle de l'attention, elle est dite volontaire et interne car sa mise en jeu dépend de la motivation de l'individu et de la tâche en cours.

Après avoir été perçue durant de nombreuses années comme un processus unitaire, la notion d'attention s'est conceptuellement enrichie, au gré des recherches, jusqu'à être considérée aujourd'hui comme une opération multiple (Camus, 2002). Depuis la publication de Posner & Boies (1971), le terme générique d'attention s'est vu progressivement remplacé par un ensemble de notions plus spécifiques. Les auteurs proposent trois topiques en rapport à l'étude de l'attention : ils définissent l'alerte comme l'habileté à développer et maintenir une sensibilité optimale aux stimulations externes, la sélectivité comme la capacité à sélectionner l'information d'une source plutôt que d'une autre et la capacité limitée de traitement de l'information. Plus tard, Posner et Peterson (1990) confirmeront ces définitions en mettant en évidence l'existence au sein du cerveau de circuits distincts pour l'attention soutenue, l'attention sélective et l'orientation spatiale. Les auteurs précisent alors que leur fonction et leur organisation neuro-anatomique sont spécifiques. Selon eux, l'attention consiste bien en un regroupement de composantes différentes. A la suite des travaux de Posner et al., différents concepts relatifs à l'attention ont commencé à émerger de toute part, les processus attentionnels mis en exergue dans la majorité des études étant l'alerte phasique, la vigilance, l'attention sélective et l'attention divisée. Ainsi, Van Zomeren & Brouwer (1994) ont proposé un modèle opérationnel en clinique qui suggère de regrouper ces différentes fonctions attentionnelles autour de deux axes : l'intensité et la sélectivité (Figure 1).

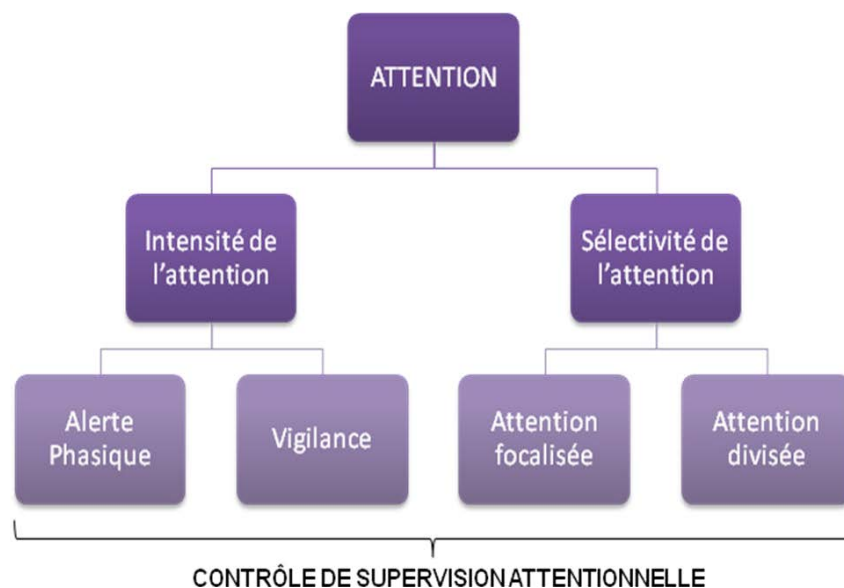


Figure 1. Modèle attentionnel (adapté d'après Van Zomeren & Brouwer, 1994)

La première dimension de ce modèle concerne l'intensité de l'attention et regroupe l'attention soutenue, la vigilance et l'alerte ; la deuxième dimension concerne la sélectivité de l'attention et inclut l'attention focalisée et l'attention divisée. Van Zomeren (1995) fait le lien entre ces deux dimensions à l'aide d'un mot familier souvent utilisé dans le langage courant, la « concentration ». Selon l'auteur ce terme permettrait de combiner les dimensions du modèle théorique proposé. En effet, la concentration implique que l'individu soit intensivement sélectif ou sélectivement intensif. Si l'on reprend la métaphore du phare, l'attention de manière générale peut être comparable à un éclairage sélectif d'intensité variable (Leclercq, 2002b).

Les études pionnières sur l'attention ont permis d'en révéler de multiples facettes. Ainsi, différents « **processus attentionnels** » ont été mis en évidence permettant

Après avoir été perçue durant de nombreuses années comme un processus unitaire, la notion d'attention s'est conceptuellement enrichie, au gré des recherches, jusqu'à être considérée aujourd'hui comme une opération multiple (Camus, 2002). Depuis la publication de Posner & Boies (1971), le terme générique d'attention s'est vu progressivement remplacé par un ensemble de notions plus spécifiques. Les auteurs proposent trois topiques en rapport à l'étude de l'attention : ils définissent l'alerte comme l'habileté à développer et maintenir une sensibilité optimale aux stimulations externes, la sélectivité comme la capacité à sélectionner l'information d'une source plutôt que d'une autre et la capacité limitée de traitement de l'information. Plus tard, Posner et Peterson (1990) confirmeront ces définitions en mettant en évidence l'existence au sein du cerveau de circuits distincts pour l'attention soutenue, l'attention sélective et l'orientation spatiale. Les auteurs précisent alors que leur fonction et leur organisation neuro-anatomique sont spécifiques. Selon eux, l'attention consiste bien en un regroupement de composantes différentes. A la suite des travaux de Posner et al., différents concepts relatifs à l'attention ont commencé à émerger de toute part, les processus attentionnels mis en exergue dans la majorité des études étant l'alerte phasique, la vigilance, l'attention sélective et l'attention divisée. Ainsi, Van Zomeren & Brouwer (1994) ont proposé un modèle opérationnel en clinique qui suggère de regrouper ces différentes fonctions attentionnelles autour de deux axes : l'intensité et la sélectivité (Figure 1).

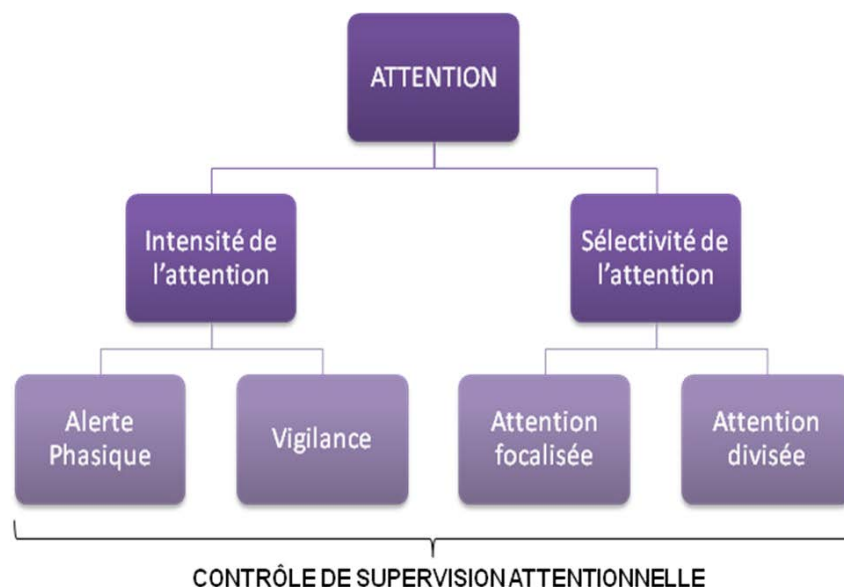


Figure 1. Modèle attentionnel (adapté d'après Van Zomeren & Brouwer, 1994)

La première dimension de ce modèle concerne l'intensité de l'attention et regroupe l'attention soutenue, la vigilance et l'alerte ; la deuxième dimension concerne la sélectivité de l'attention et inclut l'attention focalisée et l'attention divisée. Van Zomeren (1995) fait le lien entre ces deux dimensions à l'aide d'un mot familier souvent utilisé dans le langage courant, la « concentration ». Selon l'auteur ce terme permettrait de combiner les dimensions du modèle théorique proposé. En effet, la concentration implique que l'individu soit intensivement sélectif ou sélectivement intensif. Si l'on reprend la métaphore du phare, l'attention de manière générale peut être comparable à un éclairage sélectif d'intensité variable (Leclercq, 2002b).

Les études pionnières sur l'attention ont permis d'en révéler de multiples facettes. Ainsi, différents « **processus attentionnels** » ont été mis en évidence permettant

d'appréhender le concept dans toutes ses dimensions. Dans les paragraphes qui vont suivre, chaque processus attentionnel va être plus précisément défini tout en gardant le cadre issu des travaux de Van Zomeren & Brouwer (1994). Les corrélats neuronaux de chaque processus attentionnel abordé seront détaillés en fin de partie.

### 1.1 *L'intensité de l'attention*

Le caractère intensif de l'attention correspond à l'accroissement de l'activité perceptive, motrice et mentale. Cela concerne la quantité d'information transmise à partir de l'environnement et utilisée dans le comportement. Sa fonction serait de permettre une bonne réceptivité non spécifique du système nerveux central aux stimuli et une préparation à des activités spécifiques.

#### a) *L'alerte phasique*

L'attention inclut la préparation instantanée à l'action, nommée **alerte phasique**. L'alerte correspond à la capacité du sujet à augmenter son niveau attentionnel lorsqu'il attend la survenue d'un stimulus. Plus précisément, elle correspond à la facilitation instantanée et généralisée de la performance induite par un signal avertisseur (Posner & Rafal, 1987). C'est une attention volontaire déterminée par la soudaineté, l'intensité, le contraste, le mouvement d'un stimulus, mais aussi sa nouveauté. L'alerte phasique est souvent mesurée par le temps de réponse à un stimulus cible annoncé par un signal avertisseur. On observe classiquement une réduction du temps de réponse à une cible lorsqu'elle est précédée d'un tel signal. Le fait de faire varier le temps d'alerte, qui correspond à l'intervalle entre le signal avertisseur et la cible, a permis d'aboutir à des données précises de mesure de l'activité d'alerte. L'effet est transitoire et rapide, il survient dès 100 millisecondes (ms) après le signal et atteint son maximum entre 500 et 1000 ms (Posner & Boies, 1971). En résumé les performances sont moins bonnes lorsqu'il n'y a pas de signal avertisseur et s'améliorent lorsque le temps d'alerte augmente jusqu'à atteindre une valeur induisant une optimisation de l'état de préparation.

#### b) *L'attention soutenue – La vigilance*

La **vigilance** et l'**attention soutenue** sont aussi des aspects intensifs de l'attention mais sont mesurées sur des échelles de temps bien plus longues que l'alerte phasique (15 minutes minimum versus moins d'une seconde). Elles correspondent à la capacité à maintenir un niveau d'efficacité adéquat et stable au cours d'une activité prolongée sollicitant un contrôle attentionnel continu (Parasuraman, 1984). Il s'agit d'une orientation active de l'attention, d'un processus volontaire. Ces deux notions ont longtemps été confondues et utilisées indifféremment (Van Zomeren & Brouwer, 1994), à tort pour certains auteurs (Leclercq & Zimmermann, 2000). La distinction entre vigilance et attention soutenue résiderait dans la fréquence de présentation des stimuli cibles auxquels le sujet doit réagir, elle est très basse pour la première notion et plus élevée dans la deuxième. Le rythme des informations qui se présentent à nous est continu et varie d'une situation à une autre, ce qui laisse supposer un continuum du flux d'information sur lequel se trouverait la vigilance à une extrémité et l'attention soutenue à l'autre extrémité (Leclercq & Zimmermann, 2000) (

Figure 2).



Figure 2. Continuum Vigilance – *Attention soutenue* (adapté d'après Leclercq & Zimmerman, 2000)

Dans une situation typique mettant en jeu la vigilance, le sujet doit traiter très peu d'informations pertinentes contrairement à la situation d'attention soutenue où le flux d'information est rapide et continu ; ce qui nécessite un traitement actif ininterrompu.

L'attention soutenue est impliquée dans pratiquement toutes les tâches de durée prolongée (Van Zomeren, 1995). Son imbrication avec d'autres processus attentionnels la rend ainsi difficile à évaluer de manière isolée. Pour cette raison, nous nous sommes particulièrement intéressés à la vigilance, qui est plus facilement identifiable. Mackworth (1963), pionnier de l'étude de la vigilance, la définit comme l'« état de préparation à détecter et réagir à certains changements discrets apparaissant à des intervalles de temps variables au sein de l'environnement ». Elle est étroitement liée à la notion d'éveil, bien que ce dernier ait une connotation plus neurophysiologique. En effet, être attentif à quelque chose suppose un certain niveau de vigilance sur le continuum veille-sommeil, ce qui tend à indiquer que la vigilance est un état physiologique pré-requis pour l'exercice de l'attention. Classiquement évaluée sur de longues durées (25 minutes à une heure selon les batteries neuropsychologiques utilisées), Nuechterlein et al. (Nuechterlein, Parasuraman, & Jiang, 1983) montrent pourtant qu'il est possible de la mettre en jeu en seulement cinq minutes. Selon ces auteurs, il est possible d'observer des signes d'hypovigilance sur une courte durée à condition que la cible à détecter soit dégradée. Le contexte a donc son importance, la tâche utilisée doit être simple mais la détection difficile. Cependant, dans de telles tâches de courte durée, la baisse de vigilance (diminution de la détection d'un signal par exemple) n'est pratiquement jamais observée chez des sujets sains (Parasuraman, Warm, & See, 1998).

## 1.2 La sélectivité de l'attention

La fonction de sélectivité, second axe dans le modèle de van Zomeren & Brouwer (1994), constitue un aspect central du système attentionnel. La sélectivité nous permet de choisir, de sélectionner une partie de l'information qui se présente à nous. Plus précisément, c'est un mécanisme cognitif responsable de la sélection des informations pertinentes pour l'organisme (ce à quoi on s'intéresse), parmi celles qui sont présentes dans l'environnement. L'humain ne peut agir que sur un nombre restreint d'informations à la fois, le traitement ne peut être exhaustif, c'est donc pour cette raison que notre organisme met en place une sélection attentionnelle.

Deux aspects sous-tendus par l'axe sélectif de l'attention vont maintenant être développés avec plus de précision, l'attention focalisée et l'attention divisée.



a) *L'attention focalisée/sélective*

L'**attention focalisée** ou **attention sélective** est l'aspect qui a été le plus étudié parmi les processus attentionnels. La focalisation interviendrait juste après l'orientation de l'attention et réfère à la capacité à se fixer sur une source de stimulation ou sur une activité cognitive. L'attention sélective se définit comme l'habileté à focaliser son attention sur certaines caractéristiques d'une tâche et, en même temps, à supprimer volontairement les réponses des caractéristiques non pertinentes pour la tâche en cours. Ainsi, elle implique un double mécanisme, « d'une part, l'activation de processus de centration sur l'objet de l'attention et d'autre part, l'inhibition active d'éléments distracteurs potentiellement perturbateurs et pouvant interférer avec la focalisation » (Leclercq & Zimmermann, 2000, p. 101). Devant l'ampleur des informations présentes dans l'environnement et entrant en interaction avec l'individu, ce dernier se doit de faire un tri. En effet, on ne peut traiter l'intégralité des informations auxquelles on se trouve confronté.

La focalisation d'une information revêt une place centrale dans le système attentionnel et constitue la base du premier modèle dit de « filtre » élaboré dans le domaine (Broadbent, 1958). Selon cet auteur, la sélection de l'information pertinente serait rendue possible grâce à un filtre attentionnel destiné à éviter le risque de surcharge dû à un flot continu d'informations. L'attention sélective réfère donc à la notion de choix : certains éléments du monde extérieur sont pris en considération et donc focalisés, au détriment d'autres qui sont ignorés. Broadbent (1958) propose que le filtre sélectif s'interpose entre deux registres (filtre sensoriel et mémoire à court terme) afin de réduire la surcharge du système central, les informations traitées seraient celles qui sont attendues. Il s'agit donc d'un filtrage précoce. D'autres modèles ont ensuite vu le jour, nous citerons Deutsch & Deutsch (1963) qui parlent d'un dispositif de détection avec un filtrage tardif, au sein duquel toutes les informations seraient traitées mais seule l'information associée à la réponse pertinente accéderait au contrôle de la réponse. Enfin, Treisman (1964) parle d'un filtre « flexible » car il aurait des effets différenciés sur les informations à trier, constituant par là même un filtrage à la fois précoce et tardif.

Le système cognitif parvient à surmonter les obstacles imposés par la mise en évidence de limites dans nos capacités de traitement de l'information : la cible est traitée et ceci quel que soit le goulot de traitement utilisé (précoce, tardif). Par contre, une différence réside concernant le destin des distracteurs : pour certains ils sont bloqués (Broadbent, 1958), pour d'autres ils sont atténués (Treisman, 1964).

A la lumière des différents modèles de filtres proposés dans la littérature, il apparaît que le rôle de l'attention évolue. Au-delà de la simple tâche de « surveiller les entrées », il lui appartient maintenant de gérer l'univers cognitif interne du sujet en y mettant de l'ordre. L'attention permet donc dans un premier temps d'orienter notre fenêtre attentionnelle, c'est l'attention qui se déplace ; et d'autre part de se focaliser sur un élément en particulier, c'est l'attention qui filtre.

b) *L'attention divisée*

L'**attention divisée** ou **attention partagée** peut être définie comme l'habileté à exécuter deux tâches simultanément. Il peut s'agir de deux activités à effectuer en même temps (paradigme de double tâche) ou bien d'une seule activité qui combine deux opérations (activité de vie quotidienne comme la conduite automobile par exemple).

La notion d'attention divisée est étroitement liée à celle de la limitation des ressources attentionnelles. Effectivement, nous disposons d'une réserve de ressources à capacité limitée (Kahneman, 1973), on peut alors supposer que la demande cumulée de toutes les tâches

engagées excède à chaque instant la quantité de ressources disponibles. Nous nous devons de diviser notre quota d'attention entre les différentes tâches effectuées en même temps. De plus, un canal unique de traitement interviendrait lors de la réalisation de tâches simultanées. Partant de ces constats, lors de la combinaison de deux tâches effectuées en laboratoire, on observe fréquemment une diminution de la performance sur une des deux tâches ou sur les deux. Certains auteurs se sont alors intéressés aux stratégies d'attribution attentionnelle du sujet (Van Zomeren & Brouwer, 1994), en tentant d'induire une intensité plus importante sur une des deux tâches.

L'implication de ce processus attentionnel renvoie alors à deux mécanismes distincts : d'une part, la capacité à traiter plusieurs sources d'information de manière conjointe et d'autre part, l'habileté à répartir stratégiquement la quantité d'attention disponible entre plusieurs tâches. L'aspect sélectif de l'attention divisée réside alors dans le fait de rendre prioritaire l'information qui aura été sélectionnée pour sa pertinence lors d'un éventuel traitement simultané.

La mise en jeu de l'attention divisée est a priori plus importante lorsqu'il s'agit de tâches routinières ou de mécanismes innés (Rousseaux, Cabaret, & Bernati, 2002). En effet, lors d'activités de vie quotidienne, l'automatisation de certains processus permet à l'individu d'effectuer d'autres tâches en parallèle car le traitement automatique est supposé avoir une capacité illimitée. Bien que la facilitation de la performance en double tâche grâce à la pratique soit un fait reconnu (Shiffrin & Schneider, 1977), il existe différentes suggestions à propos de l'influence majeure de la pratique : permet-elle d'améliorer la performance grâce à l'automatisation de la réponse, grâce à l'alternance d'attention ou bien en développant des stratégies minimisant les interférences ? Norman & Shallice (1986) suggèrent que l'individu dispose d'une capacité centrale qui peut être utilisée de manière flexible pour servir la demande en attention divisée.

Pour conclure sur l'attention, « faire attention » présente trois principaux avantages pour l'individu (Laberge, 1995) : (1) la précision du traitement, qui renvoie aux capacités de sélection (attention focale et divisée) et à l'efficacité ; (2) la vitesse du traitement, qui fait appel à la capacité de préparation à réagir à un stimulus attendu (alerte phasique) ; (3) et le maintien du traitement mental qui exige un niveau égal d'attention sur une période plus ou moins longue (vigilance et attention soutenue).

### 1.3 Corrélats neuronaux

L'attention est un système actif qui engage un réseau cérébral étendu avec des bases anatomiques et physiologiques qui seront décrites ci-après de manière générale, puis spécifiquement pour chaque processus attentionnels abordé.

De manière générale, les bases cérébrales du contrôle de l'orientation de l'attention impliquent des réseaux d'aires cérébrales en partie indépendants chacun sous-tendant une fonction attentionnelle particulière (Corbetta & Shulman, 2002). Le **système dorsal** (parties du cortex pariétal et du cortex frontal supérieur) permettrait la préparation et l'application de la sélection des stimuli et des réponses (=top-down). Le **système ventral** (cortex temporo-pariétal et cortex frontal inférieur droit) serait spécialisé dans la détection de stimuli qui sont pertinents pour le comportement ; il agit comme un « coupe-circuit » sur le système dorsal, en dirigeant l'attention vers des événements saillants ou inattendus survenant hors du focus du traitement en cours (=bottom-up). Bien que certains auteurs considèrent l'attention comme dépendante de vastes réseaux cortico-sous-corticaux (Posner & Petersen, 1990), de

nombreuses études montrent que certains de ces aspects spécifiques peuvent être sélectivement perturbés à la suite de lésions circonscrites.

L'existence d'un déficit d'alerte a été rapportée après lésion de la formation réticulée du tronc cérébral ainsi qu'après lésions hémisphériques droites (Sturm, 2000).

Une étude qui mesure les flux cérébraux en PET scan (Pardo, Fox, & Raichle, 1991), montre une activation du cortex préfrontal et pariétal supérieur, surtout à droite, lors d'une tâche d'attention soutenue. Selon ces auteurs, un réseau cortico-sous-cortical hémisphérique droit serait impliqué pour toute la dimension intensive de l'attention : vigilance, attention soutenue et alerte phasique. L'hémisphère droit jouerait donc un rôle crucial dans le maintien et le contrôle des aspects propres à l'intensité de l'attention (Sturm, 1999).

Une étude réalisée en PET scan (Corbetta, Miezin, Dobmeyer, Shulman, & Petersen, 1991) a démontré le rôle spécifique du cortex orbito-frontal latéral gauche, des ganglions de la base et du thalamus postérieur lors de la réalisation de tâche d'attention sélective. En ce qui concerne plus particulièrement l'attention visuo-spatiale, de nombreux auteurs s'accordent sur le rôle prépondérant du lobe pariétal dans la sélection d'une information pertinente (Behrmann, Geng, & Shomstein, 2004; Posner, Walker, Friedrich, & Rafal, 1984).

L'étude de Corbetta et al. (1991), a aussi permis de mettre en évidence le rôle important du cortex préfrontal dorso-latéral de l'hémisphère droit pour une tâche d'attention divisée. Le problème réside dans le fait que la tâche utilisée faisait plutôt appel à l'attention soutenue et n'utilisait pas un paradigme classique de double tâche (Sturm, 1999).

### **Lien entre attention, mémoire de travail (MDT) et fonctions exécutives (FE)**

Un grand nombre de capacités attentionnelles sont très étroitement associées à d'autres capacités cognitives. Ainsi, la sélectivité de l'attention serait liée aux fonctions exécutives (Rousseaux, et al., 2006) et à la mémoire de travail (Van der Linden & Collette, 2002) du fait qu'elles sont toutes trois considérées comme étant hiérarchiquement supérieures et au service des autres fonctions cognitives. Ce lien se traduit par le fait que l'ensemble des composantes attentionnelles que nous venons de passer en revue sont elles-mêmes sous le contrôle d'une entité encore plus large : un contrôle de supervision attentionnelle (Van Zomeren, 1995).

Le fait d'allouer des capacités attentionnelles à une tâche plutôt qu'une autre nécessite une certaine stratégie et une certaine flexibilité. De ce point de vue, un régulateur devient indispensable pour éviter une baisse généralisée du niveau d'efficacité de la performance. C'est dans ce contexte que le concept de système de contrôle attentionnel a vu le jour. Il permettrait à lui seul d'expliquer la relation triangulaire entre MDT, FE et attention, car il joue un rôle important dans la gestion des activités complexes, la planification, la prise de décision et la régulation des comportements en fonction des buts à atteindre. Ce système de contrôle revêt divers noms selon les modèles, on parle d'administrateur central (Baddeley, 1986) lorsqu'on s'intéresse à la MDT, de système exécutif lorsqu'on s'intéresse aux FE et de système de supervision attentionnelle (SAS) (Norman & Shallice, 1986) lorsque le centre d'intérêt est l'attention. Malgré ces appellations fluctuantes, sa fonction est la même : déterminer les priorités de traitement garantissant à une tâche une alimentation régulière et un niveau satisfaisant en ressources attentionnelles (Camus, 2003). Autrement dit, une unité centrale distribue la quantité d'attention disponible entre les tâches, la tâche à effectuer déterminant a priori le montant des ressources devant lui être assigné. Certaines tâches sont donc prioritaires et d'autres retardées ou suspendues.

En résumé, l'attention englobe quatre processus attentionnels distincts et serait elle-même gouvernée par un système de contrôle qui interviendrait seulement lors d'opérations de haut niveau, dans des situations non familières, nouvelles ou dans des tâches complexes. A

l'heure actuelle, la description des articulations entre MDT, FE et processus attentionnels demeure encore relativement confuse mais on parle de plus en plus de recouvrement entre ces domaines (Camus, 2003). Les auteurs hésitent entre une conception large et étroite de l'attention. Nous nous orientons vers une conception plutôt étroite et considérons ces 3 processus comme étant bien distincts les uns des autres mais reliés par une seule et même composante appartenant aussi bien au fonctionnement exécutif, mnésique et attentionnel : le système de supervision.

L'attention s'étudie à travers les processus qu'elle met en œuvre et non pas à travers la diversité des situations dans lesquelles elle est censée intervenir (situation d'alerte, d'attention sélective, divisée, etc.) (Camus, 2003). Partant de ce constat, il s'agira dans la suite de ce chapitre d'analyser chaque processus attentionnel à travers une situation de vie quotidienne : l'activité de conduite automobile.

## **2. Le rôle de l'attention dans la conduite automobile**

### **2.1 Définition de l'activité de conduite**

La conduite automobile est l'exécution routinière d'une activité dynamique et complexe qui implique la mise en jeu des fonctions motrices, perceptives et de nombreux mécanismes cognitifs (processus mnésiques, exécutifs, attentionnels...) lors de situations changeantes. La tâche de conduite fait appel au traitement d'informations prélevées dans l'environnement du véhicule et dans l'environnement routier. Le conducteur se retrouve donc confronté à de nombreuses informations externes (panneaux routiers, passager) et internes (plan d'action, planification, anticipation).

Les conceptions permettant de décrire l'activité de conduite sont nombreuses dans la littérature. Les auteurs parlent d'habileté de conduite, de performance, de capacité, de comportement, de compétence et enfin d'aptitude à la conduite. Selon Lunqvist (2001a), la performance et la capacité de conduite réfèrent à ce que le conducteur est capable de faire, alors que le comportement de conduite renvoie à ce que le conducteur fait réellement sur la route. L'habileté de conduite est le fait de diriger techniquement la voiture, c'est-à-dire la direction, l'embrayage, le freinage et le fait de maintenir la voiture sur la route. Enfin la compétence et l'aptitude à la conduite réfèrent à l'intégralité des habiletés dont peut avoir besoin un conducteur, définies d'un point de vue opérationnel comme l'aptitude pratique à la conduite.

### **2.2 Implication des processus attentionnels en conduite**

Le conducteur explore son environnement afin de sélectionner les informations qui vont lui permettre de se préparer à réagir, éventuellement anticiper et gérer les événements, pour pouvoir décider de l'action à mener. L'activité de conduite nécessite ainsi de bonnes capacités d'attention. Il est difficile d'analyser clairement la responsabilité des troubles de l'attention dans la genèse des accidents de la route mais il semblerait tout de même que l'inattention (le fait d'orienter son attention ailleurs que sur la tâche de conduite) et la distraction (orientation manifeste de l'attention vers des sources non pertinentes) en soient les causes principales (Shinar, 1978). Une revue de littérature (Chapon, 2006) a permis de mettre en évidence quelques données chiffrées : aux Etats-Unis 25 à 50 % des accidents (variable selon les études) seraient dus à un défaut d'attention (inattention et/ou distraction), ce chiffre s'élevant à 47 % dans le cas du Japon. En Angleterre, les troubles de l'attention constituent

l'élément causal dans environ 1/3 des accidents tandis que la distraction est vue au Canada comme un facteur constitutif de 20 % des accidents routiers. Enfin, en France, un défaut d'attention serait impliqué dans 33 % des accidents. De surcroît, les études portant sur la caractérisation des conducteurs ont permis de mettre en évidence une détérioration importante du comportement de conduite chez des individus dont l'attention est déficitaire comme les personnes âgées ou les personnes atteintes de troubles neurologiques (Brouwer, 2002b).

Le rôle de l'attention dans l'activité de conduite est général mais il est cependant possible de déterminer la part respective des différents processus attentionnels impliqués de manière plus spécifique. Effectivement, la vigilance pourrait être nécessaire pour maintenir un niveau d'éveil suffisant afin de contrôler les caractéristiques physiques de l'environnement routier, l'attention sélective pour rehausser les informations pertinentes pour la conduite et l'attention divisée pour réaliser différentes tâches simultanément comme par exemple mettre la radio et conduire (Boujon, Lemercier, & Quaireau, 2005). Afin d'illustrer la mise en jeu des différents processus attentionnels durant l'activité de conduite, nous proposons de les concrétiser à travers une liste d'exemples.

**L'alerte phasique** se trouve impliquée lorsque le conducteur se prépare à réagir, par exemple lorsqu'il attend au feu rouge : il redémarrera bien plus rapidement au feu tricolore s'il s'est préparé attentivement à l'apparition du feu vert que s'il a attendu au croisement sans anticiper au préalable le changement de feu (Auclair & Siéroff, 2005). Un autre exemple mettant en jeu l'alerte phasique lors de l'activité de conduite peut être de considérer le feu orange comme un signal avertisseur de la survenue du feu rouge. Le feu orange permettrait au conducteur de réagir plus rapidement et donc de freiner moins brutalement que s'il n'y avait pas eu cet intermédiaire de couleur. Les données de la littérature dans ce domaine sont très restreintes.

Tout comme dans les épreuves neuropsychologiques de **vigilance**, le conducteur est souvent confronté à une tâche de surveillance monotone et de longue durée au cours de laquelle les stimuli pertinents auxquels il aura à réagir sont peu fréquents voire même inexistants. Une situation de vigilance en conduite peut alors être représentée par la scène suivante : une personne conduit longuement sur une route droite bordée de platanes, donc très monotone ; et, brusquement, un animal traverse la route. Le conducteur doit alors avoir un certain niveau d'éveil pour pouvoir réagir de manière appropriée et le plus rapidement possible. Pour que le conducteur puisse à tout moment être capable de percevoir un événement routier imprévu, il faudrait un niveau de vigilance constant. Or, la vigilance fluctue au cours de la journée. La diminution de la vigilance serait proportionnelle à la longueur de l'activité, ce qui signifie que plus l'on conduit moins l'on est vigilant. Il est difficile de mesurer cette baisse de vigilance, cependant elle peut se manifester par un ralentissement de l'activité motrice spontanée et/ou des activités cognitives. Thiffault et Bergeron (2003) ont voulu vérifier l'hypothèse d'une baisse de l'attention durant une longue séquence de conduite. Leur expérience consistait à faire conduire 56 jeunes adultes sur un simulateur de conduite en début d'après-midi (pendant deux périodes de 40 minutes). Ils ont enregistré trois types de mesures physiologiques de l'attention : les potentiels évoqués, les mouvements oculaires et la fréquence cardiaque. Les résultats montrent que les signes d'hypovigilance apparaissent dès la première demi-heure de conduite et augmentent régulièrement au fur et à mesure de la durée de l'expérience. Ils concluent à une baisse de vigilance graduelle chez les conducteurs en début d'après-midi.

**L'attention sélective** est indispensable lors de la conduite automobile puisqu'elle permet de faire attention à la route et à son environnement tout en inhibant les autres informations non pertinentes. Un exemple de situation de conduite mettant en jeu l'attention sélective peut être représenté par un conducteur qui est arrêté sur la voie du milieu à un feu

tricolore : il devra sélectionner l'image du feu vert afin de démarrer uniquement au signal correspondant à sa voie et ignorer le changement de feu correspondant aux autres voies (Auclair & Siéroff, 2005). Le rôle de ce processus attentionnel en conduite automobile est donc de se concentrer sur la route et ne pas se laisser distraire, malheureusement ce n'est pas chose facile devant l'ampleur du nombre de distracteurs et la variabilité quant à leur nature (visuelle, auditive, cognitive et biomécanique). Pettitt et Burnett (2005) énumèrent tous les éléments pouvant être potentiellement perturbateurs au cours de l'activité de conduite. Ils distinguent les distractions internes des distractions externes au véhicule, les premières peuvent avoir des sources technologiques (systèmes embarqués) ou non technologiques (les passagers) ; et les deuxièmes peuvent être représentées par des cyclistes, piétons, panneaux publicitaires ou tout autre événement routier. Ces auteurs ont ensuite tenté d'identifier les principales causes d'un accident de la voie publique au sein de cette catégorisation. Ils montrent que parmi les sources internes ce sont les passagers (notamment les enfants) qui constituent la plus grande distraction, suivie de près par l'utilisation du téléphone portable. Parmi les sources externes, ce sont les autres véhicules qui arrivent en tête du classement, puis la recherche de panneaux de direction (personne qui cherche sa route).

L'activité de conduite pourrait représenter un des meilleurs tests pour évaluer **l'attention divisée** en situation écologique. La conduite automobile demande une attention constante face à un nombre important et indéterminable de situations simultanées (doubles tâches). Les activités secondaires à la tâche de conduite sont variées : manger, boire, fumer, brancher la radio, mettre le chauffage, discuter avec un passager, converser au téléphone, etc. Certaines parties de l'activité de conduite sont extrêmement automatisées comme passer les vitesses, embrayer, freiner, accélérer, tenir le volant, ou surveiller son rétroviseur, ce qui laisse plus de ressources pour gérer les situations complexes de l'environnement. Il est donc possible de maintenir une certaine efficacité lors de situations d'attention divisée, à condition que les actions permettent la mise en jeu des processus automatiques. A contrario, lorsqu'on apprend à conduire, le recours au contrôle volontaire de ces actions non automatisées est assez coûteux d'un point de vue attentionnel. De ce fait, il est bien plus difficile pour un conducteur novice de réaliser des doubles tâches en conduite. Comme nous avons pu le voir précédemment lors de la description des processus attentionnels, l'attention divisée permet de répartir efficacement nos ressources attentionnelles. Ainsi, il est possible de conduire et maintenir en même temps une discussion avec un passager. On peut supposer que la répartition entre les tâches est au début équitable (autant pour la conversation que pour la route), pour ensuite devenir stratégique. Par exemple, lorsque les conditions du trafic se complexifient, le conducteur a tendance à restreindre son temps de parole pour pouvoir se concentrer plus efficacement sur la route. La quantité d'attention allouée à chaque tâche varie donc en fonction de son exigence. Malgré l'automatisation de certaines actions et la répartition stratégique des ressources, la situation de double tâche s'avère dangereuse en conduite automobile. Lengenfelder et al. (Lengenfelder, Schultheis, Al-Shihabi, Mourant, & DeLuca, 2002) montrent d'ailleurs que les conducteurs (qu'ils soient des sujets sains ou des patients traumatisés crâniens) ont tendance à augmenter leur vitesse de conduite et donc à accélérer lors d'une double tâche. De même, Strayer et Johnston (2001) observent une interférence sur la tâche principale, due à l'ajout d'une tâche secondaire comme la conversation au téléphone ; celle-ci diminuerait les performances en conduite en divertissant l'attention vers un contexte cognitif autre que celui lié à la conduite. Ces auteurs proposent ultérieurement (Strayer, Drews, & Johnston, 2003) l'hypothèse explicative de l'aveuglement inattentionnel (inattention-blindness hypothesis), selon laquelle les conducteurs seraient « aveuglés » par la conversation téléphonique, provoquant alors l'absence de détection d'un stimulus ou l'interruption de la capture attentionnelle ; et ceci même si le regard est focalisé sur le stimulus en question.

Enfin, le **système de contrôle attentionnel** serait très fortement impliqué dans la situation de conduite automobile où la planification et la prise de décision sont des facteurs de haute importance pour une conduite sécurisée (Auclair & Siéroff, 2005). En effet, l'activité de conduite requiert d'une part les processus automatiques, comme dans toute activité de vie quotidienne, et d'autre part les processus contrôlés, lors de situations exigeantes. Ainsi, l'activité de conduite aurait la particularité de combiner l'intervention du gestionnaire des conflits et du Système Attentionnel Superviseur (SAS) pour répondre respectivement aux situations routinières et non familières. La théorie du double système de contrôle (Norman & Shallice, 1986) prend donc toute son importance dans l'activité de conduite automobile.

En conclusion, l'activité de conduite implique les quatre processus attentionnels décrits dans le modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994) : l'alerte phasique, la vigilance, l'attention sélective et l'attention divisée.

### ***2.3 Modélisation de l'activité de conduite***

De nombreux modèles ont été développés pour permettre de structurer l'activité de conduite sur le plan cognitif. Nous aborderons essentiellement ceux qui sont en rapport avec la problématique du traumatisme crânien, de l'attention ou de la rééducation.

Michon (1985) a proposé un modèle hiérarchique, constitué de trois niveaux de décision : niveau stratégique, tactique et opérationnel. La conduite automobile serait caractérisée par l'implication simultanée de ces trois niveaux. Selon que l'on progresse dans ce modèle, la pression temporelle et le niveau de risque augmentent. Au niveau stratégique, les décisions sont prises avant de prendre le volant et concernent la planification de l'itinéraire et la tâche de navigation. Le conducteur juge et décide de la route la plus appropriée, prend en considération les conditions climatiques, le moyen de déplacement, le trajet à effectuer, ou encore le moment de la journée. La pression temporelle est faible et la prise de risque est estimée avant la conduite. Le niveau tactique concerne le comportement et les décisions prises dans le trafic réel. Le conducteur décide par exemple d'accélérer ou de ralentir (adaptation de l'allure), de doubler une voiture ou de traverser un carrefour. La pression temporelle est un peu plus importante qu'au niveau précédent puisque ce niveau requiert une conscience des demandes du trafic actuel. Le niveau tactique implique des jugements corrects de la part du conducteur dans les situations de trafic et un comportement d'anticipation afin de prévenir du danger. L'attention sélective et la vitesse de traitement de l'information interviennent donc à ce niveau pour faire le tri des informations utiles pour la conduite (Lundqvist, 2001a). Le niveau opérationnel consiste en la prise de décision immédiate d'une action correspondant au contrôle du véhicule et aux ajustements à opérer dans le cas d'un danger soudain. C'est la mise en œuvre des actions sélectionnées au niveau tactique, comme par exemple un freinage d'urgence lors de l'apparition brutale d'un obstacle sur la route. La pression temporelle à ce niveau est continue et forte, le temps de réponse du conducteur en est donc restreint. Ce modèle est dit hiérarchique car les choix ou comportements réalisés à un niveau élevé (niveau stratégique et tactique) vont avoir une influence et conditionner la difficulté de la tâche à un niveau plus élémentaire (niveau opérationnel). Considérant l'extrême pression temporelle du niveau opérationnel, les processus de compensation chez une personne cérébro-lésée ne peuvent se mettre en place qu'au niveau tactique et stratégique (Brouwer, 2002a). Un patient pourra par exemple agir sur le niveau stratégique, en décidant de ne pas conduire lorsque le trafic est trop dense (période « de pointe »), afin de réduire la pression temporelle rencontrée au niveau opérationnel.

Selon Brouwer (2002b), la compétence automobile doit être évaluée en tenant compte à la fois des déficits neuropsychologiques et de la structure cognitive complexe de l'activité de conduite. Il distingue trois éléments de la compétence automobile : le savoir-faire du conducteur (driving skills), l'aptitude à la conduite (fitness to drive) et le comportement au volant (driving behaviour). Le savoir-faire est l'habileté acquise spécifique au domaine de la conduite, l'aptitude à la conduite correspond aux capacités physiques et mentales suffisantes pour être capable d'apprendre et d'appliquer les règles de conduite, enfin le comportement au volant correspond à ce que le conducteur fait réellement aux commandes de sa voiture. Ces trois aspects sont en interaction les uns avec les autres, de ce fait, il est possible d'avoir une bonne compétence de conduite même si l'un des niveaux est déficitaire. Prenons comme exemple une personne ayant des troubles attentionnels : ses limitations fonctionnelles de l'attention peuvent affecter son aptitude à la conduite, mais selon le modèle de Brouwer les compétences dépendent aussi du savoir-faire ; par conséquent plus un sujet possède une expérience antérieure à la conduite, moins il a besoin de mettre en jeu la fonction requise. Ainsi, la performance d'un sujet expérimenté est moins sensible à l'effet d'une lésion cérébrale (ou de l'âge) que celle d'un sujet novice (Van Zomeren, Brouwer, Rothengatter, & Snoek, 1988). Grâce à l'interdépendance existante entre les trois niveaux, le patient traumatisé crânien (par exemple) pourra mettre en place des processus de compensation qui permettront d'alléger l'impact de ses déficits sur sa compétence globale de conduite. Un patient pourra par exemple modifier son comportement au volant habituel en réduisant la vitesse kilométrique à laquelle il roule, afin de disposer d'un temps supplémentaire pour traiter l'information environnante. L'existence de tels mécanismes compensatoires constitue un véritable enjeu pour la rééducation de la compétence de conduite. En effet, différentes approches pourraient être envisagées : (1) réduire le savoir-faire du conducteur, avec un entraînement de l'habileté de conduite sur route ou sur simulateur de conduite par exemple ; (2) réduire l'aptitude à la conduite, pour les personnes ayant des troubles cognitifs (défaut d'attention par exemple) dus à une lésion cérébrale ou même au vieillissement normal ; (3) ou réduire le comportement au volant, par la mise en place d'intervention éducationnelle sur la prise de risque par exemple.

Ces deux modèles sont bien en lien avec la problématique de la diminution de l'efficacité attentionnelle puisque tous deux intègrent la notion de mécanisme de compensation comme valeur ajoutée au modèle, permettant d'améliorer les conditions de la conduite. La conception de Brouwer reste malgré tout plus pertinente de notre point de vue puisqu'elle s'inscrit dans une optique de rééducation, en montrant clairement qu'il existe une possibilité de compensation.



## II. TRAUMATISME CRÂNIEN ET CONDUITE AUTOMOBILE

### 1. Qu'est-ce qu'un traumatisme crânien ?

#### 1.1 Généralités sur le traumatisme crânien

##### a) Définition

On nomme habituellement traumatisme crânio-cérébral ou Traumatisme Crânien (TC), toute atteinte cérébrale ou tronculaire caractérisée par une destruction ou un fonctionnement inadéquat du tissu cérébral. Il peut s'agir d'un choc sur le crâne ou sur la face, entraînant la mise en contact brutale de l'encéphale avec la boîte crânienne, soit par des mouvements d'accélération-décélération, soit par des plaies pénétrantes, induisant un dysfonctionnement cérébral. Les conséquences de ce traumatisme au niveau cérébral sont multiples, il peut entraîner différents types de lésions, des hématomes, des œdèmes cérébraux, une hydrocéphalie ou encore une augmentation de la pression intra-cérébrale. Le TC s'accompagne souvent d'une perturbation de l'état de conscience, allant d'une confusion minimale à un coma profond. Il représente la plus fréquente affection du système nerveux central (80% des cas, pour les 20% restant : accident vasculaire cérébral, tumeurs...), endommageant la transmission ainsi que le traitement des informations. La prévalence est plus importante chez les hommes (sex ratio : 2,1) et les adultes jeunes (de 15 à 35 ans).

##### b) Épidémiologie

La population des patients traumatisés crâniens est insuffisamment connue, et ceci pour plusieurs raisons : tout d'abord à cause du faible nombre d'études épidémiologiques réalisées à ce sujet et ensuite du fait du caractère discret de certaines blessures. L'étude épidémiologique des TC permet une estimation de l'aspect quantitatif de cette pathologie en termes d'incidence (nombre de nouveaux cas apparus en un an pour 100 000 personnes). On dispose de peu de données chiffrées et l'incidence annuelle du total des patients traumatisés crâniens hospitalisés dépend des régions, des époques et des méthodes de mesures (Masson, 2000).

Une seule véritable étude est répertoriée à ce jour en France, les données recueillies résultaient d'une enquête de l'Observatoire Régional de Santé d'Aquitaine (Tiret, et al., 1990). Ce travail présente une évaluation de l'effectif des personnes ayant survécu à un TC dans la région Aquitaine, qui a ensuite été extrapolé au plan national. Selon cette étude, le taux d'incidence global des TC est de 281 pour 100 000 habitants et varie selon la sévérité du traumatisme : parmi eux 80% sont des TC légers, 11% sont des TC modérés et 9% sont des TC graves (25/100 000 habitants par an). De manière générale, si l'on considère les TC conduisant à un décès immédiat ou à une hospitalisation, l'incidence annuelle au niveau international est comprise entre 150 et 300/100 000 (Jennett, 1996). L'incidence est supérieure parmi les hommes, et ceci peut s'expliquer par le fait que l'on considère qu'ils ont plus de conduites à risque, au sens large du terme : ils pratiquent des sports plus dangereux (comme par exemple la boxe), ils prennent plus de risque (en conduite automobile : ils roulent plus vite, en ski : ils font plus de hors-pistes), ils sont plus souvent impliqués dans des altercations ou dans des conflits avec armes à feu. De plus, ce rapport (homme/femme) augmente en fonction de la gravité du traumatisme car, il y a encore moins de femmes parmi les patients ayant subi un TC grave. Ce taux varie aussi en fonction de l'âge, trois pics d'incidence pouvant être mis en évidence en fonction de ce critère. Les personnes les plus touchées seraient les enfants autour de 5 ans (suite à des chutes), les jeunes entre 15 et 24 ans

(conduites à risque) et les séniors au-delà de 75 ans (suite à des chutes) (Bruns & Hauser, 2003). L'incidence globale des TC est plus élevée chez les jeunes hommes, ainsi que l'incidence des TC graves qui serait de 40/100 000 habitants (Masson, 2000). Enfin, concernant le risque de mortalité après un TC, il augmente de manière graduelle selon la catégorie d'âge et la sévérité (Flaada, et al., 2007). La mortalité d'un patient avec TC modéré ou sévère serait 40 fois supérieure à celle d'un TC léger et augmenterait en fonction de l'âge : 10.3% chez les enfants, 40.3% chez les adultes et 50% chez les séniors (pour le groupe de TC modéré et sévère) (Flaada, et al., 2007).

### c) Étiologie

Les causes d'un TC sont très variées d'un patient à un autre, on les regroupe habituellement en trois axes principaux ayant plus ou moins d'importance selon les études (Sichez & Faillot, 1995). Les accidents de la voie publique représentent la cause principale des TC : 60 à 70% des cas selon les études (60% en France, Tiret, et al., 1990). Les accidents de la circulation peuvent être de différents types, il peut s'agir d'un accrochage avec une voiture, un vélo, un piéton, etc. Les chutes constituent la seconde cause de TC : 20 à 35% selon les études (33% en France, Tiret, et al., 1990). Elles peuvent être de diverses natures : professionnelle, personnelle (comme par exemple tentative de suicide), sportive, ou peuvent intervenir suite à un malaise épileptique ou un accident cardio-vasculaire, etc. Les chutes surviennent plus souvent aux âges extrêmes de la vie et sont fréquentes parmi les TC légers. Les étiologies restantes ont une fréquence bien plus rare (10 à 15% selon les études) : blessures par balles (13% en France, Tiret, et al., 1990), coups et chocs, catastrophes, etc.

### d) Physiopathologie du traumatisme crânien

La physiopathologie concerne les différents mécanismes impliqués et responsables des conséquences d'un TC. De prime abord, on établit une distinction entre les TC ouverts, qui sont représentés par une fracture ouverte avec enfoncement de la boîte crânienne (avec ou sans pénétration d'un corps étranger), et les TC fermés qui sont provoqués par le contact brusque entre le tissu cérébral et la boîte crânienne mais lors desquels la boîte crânienne est intacte. Concernant les TC fermés, deux mécanismes peuvent entrer en jeu : les mécanismes directs et les mécanismes indirects (Lezac, 1983). En effet, lors de l'accident, les forces physiques mises en jeu peuvent entraîner au niveau du crâne et de son contenu, des lésions immédiates ou primaires (mécanisme direct), dont l'évolution va déterminer la survenue d'autres lésions dites secondaires (mécanisme indirect).

Les lésions primaires peuvent être représentées dans un premier temps par la force de l'impact qui va entraîner une déformation de la boîte crânienne, voire une fracture (Sichez & Faillot, 1995). Le point d'impact est appelé coup et la contusion située dans la région opposée au point d'impact est appelée contrecoup. Les lésions de contre-coup résultent de la translation de la force et de la direction de l'impact. En d'autres termes, une mise en mouvement du cerveau dans la boîte crânienne va faire suite au choc, ainsi, un choc frontal (lésion de coup) projettera le cerveau en arrière et entraînera un contre-coup en un point opposé à l'impact, en occipital. L'énergie cinétique transmise au cerveau va engendrer des lésions encéphaliques focales ou des contusions. Une contusion cérébrale est une lésion superficielle associant des lésions de destruction ou de gonflements cellulaires et des lésions vasculaires. Les sites les plus fréquents de contusions sont les régions frontales et temporales (Auerbach, 1988). L'Imagerie par Résonance Magnétique a confirmé l'implication de la

région frontale comme lésion focale la plus commune après un TC léger à modéré (Levin & Kraus, 1994).

Par ailleurs, il est possible d'observer un phénomène d'accélération/décélération linéaire ou rotatoire des structures cérébrales à l'intérieur de la boîte crânienne. Ce phénomène apparaît lorsqu'une force est appliquée sur la tête et qu'il y a une différence de vitesse entre la tête et le corps. Les mouvements du cerveau provoquent alors une tension sur les fibres nerveuses fragiles et peuvent conduire à l'étirement (distorsion) et/ou la rupture (cisaillement) des axones. Les lésions observées sont principalement axonales diffuses : elles touchent la profondeur de la substance blanche et peuvent aller du corps calleux au mésencéphale, en passant par la capsule interne. Ce type de lésion est typique d'une lésion observée suite à un accident de voiture.

(cf. annexe 1 : Schéma des lésions primaires)

Les lésions initiales (primaires) peuvent être à l'origine de phénomènes d'aggravation et engendrer une lésion secondaire (troubles hémodynamiques ou ventilatoires). Les lésions secondaires sont des lésions post-traumatiques et évolutives dues à des mécanismes indirects. Ces dommages cérébraux peuvent intervenir à deux niveaux (Sichez & Faillot, 1995) : (1) un niveau local, avec des désordres métaboliques au niveau du foyer lésionnel initial (hémorragie, ischémie) ; (2) et un niveau général, où les phénomènes d'auto-aggravation s'expliquent surtout par une modification de la pression intracrânienne et du débit sanguin cérébral (hypertension pouvant aboutir à un œdème).

(cf. annexe 2 : Récapitulatif des principales lésions cérébrales traumatiques)

#### e) Valeurs pronostiques

Lorsqu'on s'intéresse au devenir du patient traumatisé crânien on se pose inévitablement la question du pronostic. On parle souvent du pronostic vital mais il existe aussi le pronostic quant à la sévérité du traumatisme ou encore le pronostic concernant les séquelles du TC. L'élément pronostique actuellement reconnu et le plus utilisé est la sévérité initiale du coma mesuré par le score de Glasgow. Cependant, bien d'autres facteurs jouent un rôle prépondérant dans le devenir d'un patient traumatisé crânien. Ainsi, il est indispensable de prendre en considération au moins un autre critère d'indication (à combiner au score Glasgow) afin d'éviter d'établir un pronostic trop hâtif. On peut en particulier présenter trois indicateurs couramment considérés : l'échelle de coma de Glasgow (Glasgow Coma Scale), la durée de l'amnésie post traumatique (APT) et l'échelle de suivi de Glasgow (Glasgow outcome scale).

- **Glasgow Coma Scale (GCS, Teasdale & Jennett, 1974)** : il s'agit de l'échelle de référence permettant de mesurer la sévérité initiale du coma. C'est une mesure pronostique du risque vital, mais de moins bonne valeur pour les risques de séquelles cognitives. L'échelle de coma de Glasgow est un indicateur de l'état de conscience. C'est une échelle comprise entre 3 (pour un coma profond) et 15 (pour une personne parfaitement consciente). Elle s'évalue sur trois critères : l'ouverture des yeux, la réponse verbale et la réponse motrice (Tableau 1). Le score total est calculé en additionnant les scores correspondant à chaque critère. Elle permet de catégoriser la sévérité d'un TC, il est dit léger lorsque le score obtenu est supérieur ou égal à 12, modéré lorsqu'il est compris entre 9 et 12 et grave lorsqu'il est inférieur ou égal à 8.

Tableau 1. Echelle de coma de Glasgow (d'après Mazaux & Joseph, 2000, p.33)

<b>Echelle de coma de Glasgow</b>		
<b>Ouverture des yeux</b>	<b>Meilleure réponse verbale</b>	<b>Meilleure réponse motrice</b>
<b>4 Spontanée</b> Ouverture spontanée des yeux ; conservation des cycles veille/sommeil	<b>5 Orientée</b> Le malade a conscience de soi et de son environnement	<b>6 Obéit</b> à un ordre verbal
<b>3 Au bruit</b> , à la parole	<b>4 Confuse</b> Conversation possible mais signes de confusion et de désorientation	<b>5 Orientée</b> Le mouvement tend à écarter la cause de douleur là où elle se trouve
<b>2 A la douleur</b> provoquée par un stimulus nociceptif au niveau des membres ou du tronc	<b>3 Inappropriée</b> Mots compréhensibles mais conversation impossible	<b>4 Evitement</b> Flexion rapide du coude avec évitement ou retrait
<b>1 Absente</b>	<b>2 Incompréhensible</b>	<b>3 Décortication</b> Membre supérieur : réponse en flexion-pronation Membre inférieur : extension
	<b>1 Aucune réponse</b>	<b>2 Décérébration</b> Membre supérieur : rotation interne et hyper-extension Membre inférieur : extension et flexion plantaire
		<b>1 Aucune réponse</b>

- **La durée de l'Amnésie Post Traumatique (APT) :** l'APT se définit comme la « période de longueur variable, suivant le TC fermé, pendant laquelle le patient est confus, désorienté, souffre d'amnésie rétrograde et est incapable d'enregistrer et de rappeler de nouvelles informations » (Schacter & Crovitz, 1977, cités par Marlier, 1995). En d'autres termes, cette période correspond au délai entre le TC et la récupération de l'orientation spatio-temporelle d'une part, et la récupération de la mémoire continue (au jour le jour) d'autre part. Ce critère de gravité du traumatisme a lui aussi une valeur pronostique largement démontrée, c'était d'ailleurs le principal index de sévérité utilisé avant l'introduction de l'échelle de Glasgow. L'APT est mesurée grâce au test de GOAT (Galveston Orientation and Amnesia Test, Levin, O' Donnell, & Grossman, 1979). C'est une échelle standardisée d'évaluation prospective de la mémoire ; elle teste l'orientation, le lieu, le moment et la mémoire des événements survenus avant et après l'accident. On dit que le patient est sorti d'APT lorsque son score au GOAT est supérieur à 75/100 pendant deux jours de suite. Il est corrélé avec l'échelle de coma de Glasgow ainsi qu'avec le Glasgow Outcome Scale (détaillé ci-après). Jenett & Teasdale (1981) ont établi une échelle diagnostique de la sévérité du TC considérant la durée de l'APT (Tableau 2). Il s'agit d'une corrélation positive : plus la période de l'APT est longue, plus le TC est grave et les séquelles seront importantes (et moins bon sera le pronostic).

Tableau 2. Sévérité du traumatisme crânien selon la durée de l'APT

<b>Durée d'APT</b>	<b>&lt; 5 min</b>	<b>5-60 min</b>	<b>1-24h</b>	<b>1-7 jours</b>	<b>1-4 semaines</b>	<b>&gt; 4 semaines</b>
<b>Sévérité du TC</b>	très léger	léger	modéré	sévère	très sévère	extrêmement sévère

- **Glasgow Outcome Scale (GOS, Jennett & Bond, 1975) :** c'est l'échelle de devenir (ou de suivi) de Glasgow, il s'agit d'une évaluation clinique qui permet de déterminer la gravité séquellaire du traumatisme. Cette échelle propose une classification en 5 catégories : (1) lorsque le score est égal à 1 (GOS I) le patient est indépendant avec ou sans déficit

neurologique léger (bonne récupération, proche de l'état antérieur même s'il reste de légères déficiences motrices ou cognitives), (2) GOS II : le patient a un déficit neurologique ou intellectuel mais est indépendant (incapacité modérée, handicapé mais indépendant), (3) GOS III : le patient est conscient mais totalement dépendant dans les activités de vie quotidienne (incapacité sévère, dépendant d'une tierce personne pour des raisons physiques et/ou cognitives, mais conscient), (4) GOS IV : état végétatif persistant (diffère du coma par le fait que les patients peuvent avoir des périodes d'ouverture des yeux spontanées ou résultant d'une stimulation) ou état pauci-relationnel (état de conscience minimale) et (5) GOS V : décès. Il est possible de mesurer l'impact des troubles cognitifs à long terme grâce à la version française de la GOS (Fayol, Carriere, Habonimana, Preux, & Dumond, 2004).

Ces trois critères aboutissent à une catégorisation de la sévérité du TC. Cependant, cette classification est à considérer avec une certaine souplesse. Effectivement, compte-tenu de la variabilité inter-individuelle existante chez les patients traumatisés crâniens, les patients d'une même classe (TC sévère par exemple) n'auront pas forcément le même profil ni le même pattern de troubles. Ceci s'explique par le fait que d'autres facteurs entrent en jeu et peuvent également avoir une influence sur la récupération après traumatisme.

- **Autres facteurs pronostiques** (non liés à la gravité du traumatisme) : le devenir des blessés à long terme dépend certes de la gravité du traumatisme mais aussi d'autres facteurs plus généraux comme l'âge. Dikmen et al. (Dikmen, Machamer, Winn, & Temkin, 1995) étudient le devenir à un an des patients traumatisés crâniens, toutes sévérités confondues, en fonction des tranches d'âge. Cette étude montre qu'à moins de 30 ans, le pronostic de bonne récupération est de 75%, qu'à partir de 50 ans il chute de façon spectaculaire et enfin qu'il descend à moins de 25% de récupération chez les plus de 75ans. L'imagerie cérébrale permettrait aussi d'établir la gravité du traumatisme (les localisations lésionnelles induisant les moins bons pronostics étant les lésions de l'hémisphère gauche ou les lésions frontales), ainsi que la durée du coma ou de la réanimation, le geste chirurgical, la pression intra-crânienne, la spectroscopie, les potentiels évoqués cognitifs, etc.

#### f) Les séquelles du traumatisme crânien

Un TC peut engendrer des séquelles multiples et variées, les principales étant neurologiques, neuropsychologiques, psychologiques et comportementales. Cependant, les troubles sont parfois invisibles pour la personne non experte (à l'exception des troubles moteurs), ce qui fait la singularité de ce handicap et lui a valu le nom de « handicap invisible » (Croisiaux, 2005), largement utilisé par l'association France Traumatisme Crânien et l'association européenne d'étude des traumatismes crâniens et leur réinsertion (European Brain Injury Society-EBIS). Nous avons dressé, de manière non exhaustive, une liste des principaux déficits que peut engendrer un TC, en fonction de la nature du trouble.

Les déficits **neurologiques** peuvent entraîner : hémiparésie avec déficit prédominant aux membres supérieurs, syndrome cérébelleux, tremblements, mouvements anormaux, épilepsie, aphasie, dysphasie, dyslexie, dysgraphie, etc. Les atteintes les plus fréquentes touchent : (1) les paires crâniennes : anosmie (perte de l'odorat), troubles neuro-ophtalmologiques, surdité, troubles de l'articulation du langage et de la déglutition ; (2) le système nerveux central : ces atteintes s'expriment par des hémipariésies et des mouvements anormaux (mouvements involontaires par exemple).

Les déficits **sensori-moteurs** peuvent concerner le langage, avec des difficultés ou impossibilités de vocaliser à cause d'un dysfonctionnement du système laryngé (dysarthrie).

Les déficits **neurosensoriels et endocriniens** sont variés: cécité, diplopie, amputation du champ visuel, hypoacousie, anosmie, obésité, diabète, insipide, etc.

Les déficits **neuropsychologiques** seront développés dans un paragraphe à part entière (« Neuropsychologie du TC ») compte-tenu de l'intérêt qu'ils représentent dans notre étude.

Les déficits **neuropsychiatriques** englobent des syndromes divers (Lishman, 1973) : syndrome frontal (Levin, Goldstein, Williams, & Eisenberg, 1991), névrose traumatique liée au traumatisme psychologique initial, syndrome subjectif des traumatisés crâniens, syndrome dépressif post-traumatique, hystérie post-traumatique, névrose de rente ou sinistrose, etc.

Les troubles **psychologiques** peuvent être de deux types : (1) d'ordre lésionnel : les lésions frontales peuvent entraîner : apragmatisme, perte de contrôle, impulsivité... ; les lésions temporales peuvent provoquer : des troubles permanents de l'humeur, une altération de la confiance de soi... ; enfin on peut observer des manifestations proxystiques qui concernent toute la gamme des émotions : anxiété, peur intense, colère, accès d'agressivité...(2) d'ordre réactionnel : des troubles psychologiques peuvent apparaître suite à la prise de conscience des troubles par le patient. Très couramment, ces troubles s'accompagnent d'une période dépressive.

Les troubles **comportementaux** sont multifactoriels, ils sont à rapporter aux troubles cognitifs directement liés à la lésion cérébrale, à la personnalité antérieure, aux troubles psychopathologiques secondaires au TC et à l'environnement social.

Devant l'ampleur des retombées séquellaires, la prise en charge d'une personne ayant subi un TC se doit d'être pluridisciplinaire avec tout de même un référent unique : (1) un suivi médical : neurologue, psychiatre, médecin rééducateur, etc. ; (2) de la rééducation : kinésithérapeute, ergothérapeute, orthophoniste, psychologue, orthoptiste, neuropsychologue ; (3) et un suivi social assuré par les services sociaux.

## 1.2 Neuropsychologie du traumatisme crânien

### a) Généralités

Les troubles cognitifs et/ou comportementaux correspondent à la majorité des séquelles observées suite à un TC (Van Zomeren & Van den Burg, 1985) et sont à l'origine de ce qu'on appelle « le handicap invisible » des patients traumatisés crâniens. Effectivement, les troubles neuropsychologiques peuvent être discrets et passer inaperçus auprès de l'entourage du patient, pourtant ils sont bien présents et non négligeables.

L'hétérogénéité des tableaux cliniques que l'on peut rencontrer chez une personne avec TC rend la schématisation difficile. Selon Heaton et Pendelton (1981) (cités par Le Gall & Allain, 2008), deux patients cérébro-lésés ne peuvent pas se ressembler, bien entendu en raison de l'histoire de leur traumatisme et des perturbations qu'ils présentent, mais aussi parce que les environnements dans lesquels ils évoluent sont différents. Malgré tout, il est possible de lister les principaux troubles cognitifs rencontrés.

Les troubles des **fonctions instrumentales** peuvent être de trois types : (1) les troubles perceptifs : ils sont essentiellement visuels et concernent la reconnaissance d'objets, d'images, de l'écriture ; on parle d'agnosie visuelle. C'est la perte de la capacité à identifier les stimuli de l'environnement visuel, en l'absence de trouble visuel ou de détérioration intellectuelle ; (2) Les troubles praxiques : ils concernent les difficultés à réaliser des séquences gestuelles ou à reproduire des figures géométriques complexes sans déficit moteur observé ; on parle d'apraxie. C'est un trouble acquis de l'exécution intentionnelle d'un comportement moteur finalisé, consécutif à une lésion cérébrale focale en l'absence d'atteinte motrice, sensitive ou

intellectuelle ; (3) les troubles de langage : ils peuvent se situer à différents niveaux, être afférents et concerner la perception et la compréhension, on parle d'aphasie de Wernicke ; et/ou être efférents et concerner l'expression, la production de parole, on parle alors d'aphasie de Broca.

Les troubles de la **mémoire** et de l'**orientation spatio-temporelle** peuvent engendrer : (1) la perte des souvenirs antérieurs à l'accident (mémoire rétrograde), essentiellement les souvenirs épisodiques, les connaissances sémantiques et procédurales étant généralement mieux conservés ; (2) la perte des possibilités de mémorisation à court ou long terme (mémoire antérograde) : mémoire épisodique (défaut d'encodage, défaut de récupération), mémoire sémantique, mémoire autobiographique, mémoire prospective (mémoire des faits et des actions futures) ; (3) la difficulté ou impossibilité de se situer dans le temps et de s'orienter dans l'espace, etc. Cependant, les troubles mnésiques principaux concernent la mémoire de travail (Azouvi, Jokic, Van der Linden, Marlier, & Bussel, 1996) et peuvent par exemple s'illustrer par une difficulté à suivre une conversation tout en gardant en mémoire le fil conducteur ou une difficulté à retenir un numéro de téléphone avant de le composer... Le plus souvent, les problèmes de mémoire observés ne sont pas apparentés à un syndrome amnésique mais sont la conséquence d'un syndrome dysexécutif avec des troubles de l'organisation et de la planification se répercutant sur le fonctionnement mnésique.

Les troubles de l'**attention** concernent principalement les troubles de la sélectivité de l'attention. Ils seront développés plus précisément ci-après (p. 46) étant donné qu'il s'agit des processus cognitifs sur lesquels porte notre intérêt.

Les troubles des **Fonctions Exécutives (FE)** font partie des fonctions cognitives les plus touchées après un TC (Mattson & Levin, 1990). Ces troubles sont très variés et peuvent être représentés par l'altération plus ou moins importante du raisonnement logique, la perte de l'autocritique, la difficulté ou impossibilité d'élaborer des stratégies simples ou complexes, la difficulté à manier l'abstraction, des troubles de l'initiation, du contrôle de l'action, une incapacité à prendre une initiative dans une situation imprévue, un défaut de flexibilité mentale, de planification (Cazalis, Azouvi, Sirigu, & Agar, 2001) ou de contrôle.

Les troubles du **comportement** peuvent être représentés par une euphorie, une impulsivité mal contrôlée, une familiarité parfois excessive, une instabilité, irritabilité, dépression, des désordres émotionnels (émoussement affectif), une désinhibition, etc.

Le **dysfonctionnement frontal** englobe les troubles exécutifs et les troubles comportementaux (Le Gall, Joseph, & Truelle, 1987). Ce pattern de déficits était communément appelé « syndrome frontal » au début, mais à l'heure actuelle on lui préférera le terme de « syndrome dysexécutif » (Godefroy, Roussel-Pierronne, Routier, & Dupuy-Sonntag, 2004).

Enfin, la **fatigue mentale** est une plainte fréquemment évoquée par les patients victimes de TC (Belmont, Agar, Hugeron, Gallais, & Azouvi, 2006). Bien que ce ne soit pas un processus cognitif à part entière, elle engendre indirectement un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information.

Toutes ces séquelles neuropsychologiques n'interviennent pas de manière conjointe chez un même patient, on observe plutôt des combinaisons variées de troubles selon la gravité du TC et la localisation lésionnelle. Cependant, certains d'entre eux ont une fréquence d'apparition bien plus importante ; c'est le cas des troubles mnésiques, attentionnels et dysexécutifs et ils persistent même longtemps après le traumatisme (Van Zomeren & Van den Burg, 1985).

b) Troubles attentionnels

Avec les problèmes de mémoire, les troubles de l'attention représentent les conséquences les plus fréquentes d'un dysfonctionnement cérébral (Azouvi, et al., 1998; Leclercq & Zimmermann, 2000; Van Zomeren & Brouwer, 1994). Du point de vue des patients, les plaintes référant à la sphère attentionnelle sont les plus rapportées, elles concernent principalement la distractibilité, le ralentissement, la fatigabilité, le temps de concentration, les difficultés en double tâche et dans le maintien de l'attention (Van Zomeren, 1995). Ces troubles persistent même à distance du traumatisme, les patients traumatisés crâniens se plaignaient encore de difficultés de concentration deux ans après l'accident (Alaoui, et al., 1998; Van Zomeren & Van den Burg, 1985) ou même, dans certains cas, dix ans après le traumatisme (Draper & Ponsford, 2008). Ces troubles peuvent toucher différents mécanismes attentionnels, mais par soucis de cohérence avec le chapitre premier, nous décrirons seulement les troubles attentionnels se rapportant au modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994). Nous confronterons alors les plaintes des patients aux études expérimentales ayant cherché à définir le processus attentionnel spécifiquement déficitaire chez ces patients.

- **Ralentissement de la vitesse de traitement**

Avant toute chose, il est important de tenir compte de la réduction de la vitesse de traitement de l'information chez un patient traumatisé crânien. En effet, un tel déficit peut avoir une répercussion sur la genèse des troubles attentionnels (Van Zomeren & Brouwer, 1994). La pensée serait comme « engluée », on parle de lenteur mentale. Le ralentissement du traitement de l'information mis en évidence chez les patients avec TC est global puisqu'il concerne à la fois le plan moteur, verbal, perceptif et cognitif. Par ailleurs, d'après Van Zomeren (1995), la lenteur mentale dépend de la sévérité du traumatisme, de la complexité de la tâche à réaliser et de la distance par rapport à l'accident. Par conséquent, les études qui se sont intéressées à un processus attentionnel en particulier ont dû au préalable neutraliser ce ralentissement global afin de s'assurer que le déficit observé n'était pas le simple retentissement de la lenteur mentale mais bien attribuable au processus étudié.

- **Alerte phasique**

La méthode classique pour évaluer les capacités d'alerte phasique repose sur l'observation d'un abaissement des temps de réponse lorsqu'un signal d'alerte est donné au sujet avant le stimulus à traiter (Azouvi, et al., 1998). L'alerte phasique semble préservée chez les patients avec TC. En effet, les études montrent que le bénéfice apporté par un signal avertisseur est identique chez les patients avec TC et chez les sujets contrôles (Ponsford & Kinsella, 1992). Les auteurs ont utilisé une tâche de temps de réponse simple et une tâche de temps de réponse à choix. Les deux épreuves étaient réalisées dans deux conditions : avec et sans avertisseur sonore. Les résultats obtenus sont similaires pour le groupe de patients traumatisés crâniens et le groupe de sujets sains : ils s'améliorent dans la condition avec stimulus avertisseur (dans le TR simple et à choix). Selon eux, cette étude n'apporte donc pas de preuves qui supportent la présence d'un déficit d'alerte phasique chez des patients avec TC.

Cependant, plusieurs études électrophysiologiques indiquent le contraire avec l'utilisation de la Contingente Negative Variation (CNV), qui représente pour certains auteurs l'alerte phasique au niveau physiologique (Rugg, et al., 1989). Il s'agit d'une onde électroencéphalographique négative qui est observée entre le signal d'alerte et le signal d'exécution. Ces auteurs ont utilisé une tâche de Go/No-go auditive lors de laquelle les patients traumatisés crâniens étaient confrontés à des tonalités au travers d'un casque audio. Un premier son était présenté avec des fréquences sonores différentes (250 Hz ou 750 Hz), suivi d'un deuxième son d'une fréquence constante (500 Hz). La tâche du participant



consistait à réagir au deuxième son seulement lorsqu'il était précédé d'un son de 250 Hz (essai go) en bougeant le pouce de sa main dominante (enregistré par un électro-encéphalogramme). Les résultats n'ont montré aucune différence de CNV entre les essais go et les essais no-go chez les patients traumatisés crâniens sévères, suggérant qu'ils ne se servent pas du stimulus avertisseur. De plus, ils ont observé une diminution de l'amplitude de la CNV chez les patients comparés aux sujets contrôles et sont donc en faveur d'une atteinte de l'alerte phasique chez ces patients. La signification clinique de ces modifications reste à préciser.

Ces discordances pourraient s'expliquer par le fait que la CNV correspond à plusieurs phénomènes différents et dont seulement certains d'entre eux seraient liés au raccourcissement des temps de réponse (Van Zomeren & Brouwer, 1994). Il semblerait que seuls les composants précoces de la CNV soient diminués, or ils correspondraient surtout au traitement du signal avertisseur et non à la préparation de la réponse.

- **Vigilance / Attention soutenue**

La vigilance serait également préservée chez les traumatisés crâniens graves. En effet, bien que les patients réalisent les tâches de vigilance bien plus lentement que les contrôles, leurs performances ne se détériorent pas plus au cours du temps (Ponsford & Kinsella, 1992 ; Van Zomeren, 1995). Ponsford et Kinsella (1992) utilisent une tâche de vigilance visuelle d'une durée de 45 minutes dans laquelle les patients devaient juger la couleur de deux lumières qui leur étaient présentées sur une boîte métallique. Lorsque les deux lumières s'éclairaient de la même couleur (toutes les deux en vert ou en rouge), le sujet devait appuyer sur un bouton réponse étiqueté de l'annotation « FAUX ». A l'inverse, il devait appuyer sur le bouton annoté « VRAI » lorsque l'une des couleurs se différenciait de l'autre (condition cible). Cette tâche mesurait bien la vigilance dans la mesure où les participants étaient confrontés à 900 stimuli dont seulement 60 étaient des cibles. Les résultats montrent que le nombre de bonnes réponses (appui sur le bouton « VRAI » lors de l'apparition de la cible) se détériore entre la quinzième et la trentième minute, mais de manière comparable entre le groupe contrôle et le groupe de patients ; il en est de même pour le nombre d'erreurs. En revanche, en ce qui concerne le temps de réponse, la différence inter-groupe est statistiquement significative : les patients sont plus lents pour réagir. Les auteurs concluent alors que les patients sont plus ralentis que les contrôles mais effectuent la tâche de vigilance avec autant de précision.

Les capacités d'attention soutenue des patients avec TC seraient en revanche affectées, avec une détérioration plus marquée de leurs performances dans ce type de tâche (variabilité du temps de réaction) comparativement aux sujets contrôles (Loken, Thornton, Otto, & Long, 1995; Whyte, Polansky, Fleming, Coslett, & Cavallucci, 1995). Whyte et al. (1995) ont utilisé un test Go/No-go de détection visuelle d'une durée de 14 minutes lors duquel une paire de lignes verticales était présentée sur un écran d'ordinateur. Le patient traumatisé crânien devait réagir le plus rapidement possible en appuyant sur un bouton-réponse lors de la survenue de la cible, représentée par deux lignes identiques (de même taille) et ne devait rien faire lorsque les lignes différaient. Bien que les auteurs appellent cette tâche vigilance task, elle mesure bien selon nous l'attention soutenue dans la mesure où les participants étaient confrontés à 140 stimuli dont la moitié était des cibles. Les résultats montrent une diminution de la détection de cible en fin de tâche pour les deux groupes, mais cette dégradation était bien plus marquée chez les patients comparés aux contrôles, révélant ainsi des difficultés à soutenir leur attention pendant une longue période.

En conclusion, les patients auraient des difficultés à maintenir un niveau attentionnel suffisant au cours du temps, seulement lorsque la tâche implique une fréquence de stimulation élevée. Selon Azouvi et al. (Azouvi, Couillet, & Vallat, 2002), ces résultats expérimentaux

font écho à une des plaintes subjectives fréquente des patients : la fatigue. Ainsi, les difficultés des patients à maintenir leur attention durant une tâche d'attention soutenue s'objectiverait par un ressenti de fatigue de la part de ces derniers, qui impliquerait une dégradation des performances.

- **Attention sélective/focalisée**

Les difficultés de concentration sont fréquemment signalées chez les patients traumatisés crâniens, pourtant l'existence d'un déficit de l'attention sélective chez ces patients reste débattue dans la littérature (Azouvi, Couillet & Agar, 1998). Au niveau comportemental, Azouvi et al. (2002) rapportent qu'un déficit d'attention sélective peut se traduire par une difficulté de concentration, une distractibilité ou une difficulté à résister à l'interférence. Au niveau expérimental, le test du Stroop est un moyen classique pour évaluer l'attention focalisée (Azouvi, Couillet & Vallat, 2002).

Ponsford & Kinsella (1992) ont utilisé le test de Stroop qui comprend trois conditions à réaliser : dénomination de couleur, lecture de mots et une condition « interférence » (le participant doit donner la couleur de l'encre des mots alors que ceux-ci désignent une couleur). Ils ont montré un ralentissement des temps de réponse chez les patients traumatisés crâniens comparé aux sujets contrôles, et ceci dans toutes les conditions du test. En revanche, les patients ne présentaient pas une sensibilité disproportionnée à l'interférence par rapport aux contrôles. Les auteurs concluent à une préservation de l'attention sélective du fait que les patients n'étaient pas plus sensibles à l'effet d'un distracteur (couleur du mot). Si l'attention sélective n'est pas déficitaire chez les patients traumatisés crâniens, on est alors en mesure de se demander pourquoi ils se plaignent de difficulté de concentration. Selon Van Zomeren (1995), les plaintes des patients référerait en fait à l'augmentation de leur fatigabilité mentale et non pas à un problème de focalisation.

Cependant, des résultats opposés ont été rapportés dans la littérature, mettant en évidence des difficultés chez les patients à ignorer une information redondante ou un distracteur externe à la tâche (Vakil, Weisz, Jedwab, Groswasser, & Aberbuch, 1995). Les auteurs ont utilisé une version particulière du test de Stroop qui comprend un sub-test supplémentaire dit « amorçage négatif ». Dans ce sub-test, les participants doivent désigner la couleur de l'encre des mots sans tenir compte de ce qui est écrit, tout comme dans la condition interférence, à la différence que la couleur de l'encre du mot est la même que le nom de couleur écrit du mot qui précède. Ainsi, la couleur du mot que le participant doit donner correspond au mot écrit qu'il a inhibé à l'essai précédent. Un ralentissement dans cette condition comparée à la condition interférence sera alors utilisé comme un index mesurant la capacité des participants à inhiber la lecture du mot précédent considéré comme distracteur. Dans un premier temps, les résultats ont montré une sensibilité à l'interférence au test de Stroop qui était disproportionnée chez des patients avec TC modérés et sévères en phase subaiguë (avant six mois). De plus, l'effet de l'amorçage négatif a fonctionné seulement chez les sujets contrôles (temps de réponse supérieur en condition amorçage comparé à la condition interférence), suggérant un déficit des mécanismes inhibiteurs chez les patients traumatisés crâniens. En conclusion, les auteurs sont en faveur d'un trouble de l'inhibition plutôt qu'un déficit de la sélectivité de l'attention. Cependant, une investigation plus récente de l'amorçage négatif n'a pas permis d'aboutir aux mêmes conclusions (Simpson & Schmitter-Edgecombe, 2000). Ces auteurs ont utilisé le paradigme de l'amorçage négatif mais avec une tâche différente : une paire de mots était présentée au participant avec un mot écrit en rouge et un en bleu, la tâche consistait à lire à voix haute le mot écrit en rouge, ensuite dans la paire suivante le mot écrit en rouge était le même que celui écrit en bleu à l'essai qui précédait. La logique du paradigme est que l'information écrite en bleue est inhibée et cela engendrera une augmentation des TR dans la condition d'amorçage négatif. A l'inverse de Vakil et al., les

résultats ont montré un effet d'amorçage négatif chez les patients, suggérant la préservation des processus inhibiteurs chez les patients traumatisés crâniens. Selon Simpson et Schmitter-Edgecombe, ces discordances seraient dues à la distance après le traumatisme, en effet, dans leur étude, les patients étaient vus au moins un an après l'accident alors que dans l'étude de Vakil et al. (1995) les deux tiers étaient vus avant six mois et le tiers restant entre six et douze mois. Ils proposent une seconde hypothèse selon laquelle l'absence de l'effet d'amorçage négatif observé par Vakil et al. serait le résultat spécifique de la tâche de Stroop, dans laquelle les caractéristiques pertinentes et non pertinentes des stimuli sont contenues dans le même stimulus ; contrairement à leur tâche où l'information à inhiber correspond à un mot différent de l'information à sélectionner. Pour vérifier ces hypothèses, Ries et Marks (2005) ont mis au point une tâche similaire à celle de Simpson et Schmitter-Edgecombe et ont inclus seulement des patients à plus d'un an du traumatisme. La tâche utilisée était plus complexe que la précédente car la liste de mots incluait des conditions « dégradées », soit par une suppression de pixels, soit par une superposition d'un caractère spécial ("=" ou "/" ) sur le mot. Leurs résultats ne montrent pas d'effet d'amorçage négatif pour des patients à distance du traumatisme. Les auteurs suggèrent alors que l'utilisation d'une tâche d'amorçage négatif complexe permet de dévoiler un déficit de l'inhibition qui ne peut être révélé par un design expérimental plus simple. Par conséquent, ils réfutent les deux hypothèses proposées par Simpson et Schmitter-Edgecombe, et concluent que les patients traumatisés crâniens auraient des déficits d'inhibition qui ne peuvent être attribués ni à la phase aiguë du traumatisme, ni à l'effet d'une tâche type « Stroop ». En effet, dans cette étude les patients étaient en phase chronique et la tâche utilisée ne faisait pas intervenir l'information pertinente et distractive dans le même stimulus.

Pour résumer, les contradictions entre les différentes études sont habituellement expliquées en fonction des caractéristiques du TC : l'attention sélective serait préservée chez les patients en phase chronique (après six mois) et déficitaire à une phase plus précoce (Van Zomeren & Brouwer, 1994). Cependant, la prise en considération des dernières études sur l'amorçage négatif va à l'encontre de ce constat, les discordances observées pourraient alors s'expliquer par le fait que l'attention sélective implique un double mécanisme dont chacune des composantes peut être atteinte de manière indépendante. Ainsi, la plupart des études montrent un déficit spécifique de la capacité d'inhibition, alors que la capacité de sélection de l'information pertinente (focalisation attentionnelle) est préservée, sauf lorsque la tâche est très coûteuse et implique des mécanismes de la mémoire de travail (Azouvi, Couillet & Vallat, 2002). Enfin, il existerait une relation très forte entre la fatigue subjective ressentie par les patients et les déficits d'attention sélective (Ziino & Ponsford, 2006), ce qui pourrait expliquer les plaintes des patients concernant les difficultés à se concentrer sur une tâche.

- **Attention divisée**

Il existe un large consensus dans la littérature en faveur d'une difficulté chez les patients traumatisés crâniens à effectuer deux tâches simultanément. Cependant, l'origine du déficit est encore débattue : simple conséquence du ralentissement de la vitesse de traitement de l'information pour certains, déficit spécifique de la capacité à diviser son attention entre deux tâches pour d'autres.

Les premières études qui se sont intéressées à ce processus attentionnel étaient en faveur d'un déficit se référant à la vitesse de traitement de l'information. Pour Kanheman (1973), si l'individu dispose de ressources attentionnelles limitées, les difficultés rencontrées lors d'une double tâche par une limitation exacerbée des ressources chez les patients traumatisés crâniens, sont liées au ralentissement cognitif. Selon Brouwer et al. (Brouwer, Ponds, Van Wolfelaar, & Van Zomeren, 1989), le trouble de l'attention divisée peut être attribuable à deux difficultés (en dehors d'une difficulté à diviser son attention entre deux

tâches), soit la lenteur mentale, soit une altération des processus de contrôle et de répartition stratégique des ressources attentionnelles. Pour éliminer l'hypothèse de la lenteur mentale, ces auteurs ont proposé une série d'études dans lesquelles ils ont adapté la difficulté de chacune des tâches à réaliser aux capacités de chaque sujet (patients et contrôles), avant de leur demander de réaliser les tâches simultanément. Puis, pour éliminer l'hypothèse d'un déficit des opérations de répartition des ressources, la double tâche était réalisée sous différentes conditions : parfois on leur demandait de prêter attention prioritairement à la tâche A, parfois à la tâche B et enfin de manière identique aux deux tâches. Ils ont pour cela utilisé une tâche de simulation de conduite sur ordinateur, dans laquelle le patient devait maintenir sa trajectoire et rouler le plus droit possible malgré la présence d'un vent virtuel qui déviait la position du véhicule ; cette tâche était associée à une tâche de détection de cibles visuelles, où le patient devait compter le nombre de points qui apparaissaient sur la route. Les résultats obtenus montrent des temps de réponse significativement supérieurs chez les patients avec TC comparés aux contrôles lors de la double tâche, mais le coût lié à la double tâche serait similaire entre les deux groupes (en considérant les temps de réponse de la simple tâche). Les auteurs (Brouwer et al., 1989) concluent que l'augmentation des temps de réponse en situation de double tâche est la conséquence de la lenteur mentale. Pour Van Zomeren et Brouwer (1994), les difficultés à réaliser deux tâches simultanément seraient dues à différentes perturbations au niveau des mécanismes permettant l'exploitation optimale des ressources. En conséquence, ces modifications au niveau de la quantité de ressources disponibles et/ou de leurs possibilités d'exploitation engendreraient une incapacité pour le patient d'affronter des situations complexes comme celles mettant en jeu l'attention divisée.

Toutefois, un grand nombre d'études ont pu montrer des déficits d'attention divisée malgré un contrôle de la lenteur mentale (Azouvi, et al., 2004; McDowell, Whyte, & D'Esposito, 1997; Park, Proulx, & Towers, 1999b). Withaar (2000) (cité par Azouvi, et al., 2002) a utilisé le même type d'épreuve que Brouwer mais avec une différence essentielle : les tâches étaient plus difficiles, moins automatiques. Les résultats montrent des perturbations en situation de double tâche significativement supérieures à celles des sujets contrôles. McDowell et al. (1997) montrent qu'un déficit en double tâche persiste même dans un sous groupe de patients sélectionnés sur la base d'une vitesse de traitement en tâche unique comparable à celle des contrôles. Ils ont utilisé une tâche visuelle de temps de réponse simple qu'ils ont couplé à une tâche simple de comptage (charge minimale) puis à une tâche complexe d'empan de chiffres (charge plus coûteuse requérant le système exécutif). Les résultats soulignent une dégradation des performances en double tâche plus importante chez les patients que chez les contrôles. De plus, cette dégradation était accentuée lors de la double tâche complexe comparée à la double tâche simple chez les deux groupes de participants, mais de manière plus prononcée pour les traumatisés crâniens. Park et al. (Park, Moscovitch, & Robertson, 1999a) apportent des arguments en faveur d'un effet lié à la complexité de la tâche car ils ont constaté que le déficit d'attention divisée dépendait de la charge en mémoire de travail. Les patients avec TC sévères effectuaient une tâche impliquant la mémoire de travail, le Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT) en simple tâche puis en double tâche conjointement à une épreuve visuelle de rappel de lettres. Les résultats ne montrent aucune différence entre les patients et les sujets contrôles lors de la simple tâche, par contre, une dégradation des performances en situation de double tâche est observée. Ils concluent que les performances sont déficitaires seulement lorsque la tâche est non routinière et requiert un haut niveau de contrôle, comme par exemple une tâche mettant en jeu la mémoire de travail. Azouvi et al. (2004) ont voulu tester l'hypothèse selon laquelle le patient aurait des difficultés à distribuer ses ressources attentionnelles entre deux tâches de manière stratégique. Un groupe de 43 patients avec TC sévères en phase subaiguë ou chronique devait effectuer deux tâches : une tâche de génération aléatoire de nombres et une tâche go-no go (temps de réponse à

choix) ; sous quatre conditions : tâche unique, tâche double, tâche double en privilégiant la génération aléatoire, tâche double en privilégiant le go/no-go visuel. Les résultats montrent que les patients ont des temps de réponse qui augmentent en situation de double tâche de manière bien plus importante que le groupe contrôle (alors que la lenteur cognitive a été contrôlée). Cependant, ils étaient capables d'adapter leur performance en fonction des instructions spécifiques quant au privilège d'une tâche sur l'autre. Ils concluent d'une part que le déficit cognitif de l'attention divisée se traduit par une chute marquée des performances en situation de double tâche, et d'autre part que lors des deux tâches doubles orientées, les patients ont pu répartir leurs ressources aussi bien que les contrôles. Ainsi, il s'agirait peut être plus d'une réduction globale des ressources en mémoire de travail, plutôt qu'un problème de stratégie d'allocation des ressources ou de flexibilité.

En conclusion, nous pouvons supposer que plusieurs variables entrent en jeu et sont à l'origine de la disparité des résultats recueillis au travers des études. La sévérité du TC et la distance par rapport au traumatisme pourraient avoir une influence sur les performances des patients en situation d'attention divisée. En effet, un déficit en attention divisée semble présent à la phase très précoce du traumatisme (Vilkki, Virtanen, Surma-Aho, & Servo, 1996) mais limité aux patients avec TC sévères à la phase chronique (Stablum, Leonardi, Mazzoldi, Umilta, & Morra, 1994). Ces troubles semblent donc moins importants lorsque le patient est à distance du TC. En effet, Brouwer et al. (1989) montrent que les patients traumatisés crâniens à distance du traumatisme (cinq à dix ans après le TC), étaient capables de partager leur attention aussi efficacement que les contrôles. Une autre variable explicative à prendre en compte est la nature de la tâche à effectuer. Comme pour l'attention sélective, ces résultats contradictoires peuvent s'expliquer par la complexité des tâches proposées au sujet (Azouvi, Couillet & Vallat, 2002). En effet, le déficit d'attention divisée ne s'observerait pas lorsque les tâches sont relativement automatisées et peu coûteuses. En revanche, si les tâches sont plus complexes, ne peuvent s'effectuer de manière automatique, ou requièrent la mémoire de travail, les patients présentent des performances dégradées.

(cf. annexe 3 : Dimensions de l'attention, paradigmes ou tâches et réseaux fonctionnels correspondants)

### **Conclusion sur les déficits attentionnels :**

Les données de la littérature sont diverses et variées, permettant difficilement d'établir un pattern typique des troubles attentionnels chez les patients traumatisés crâniens. A notre connaissance, seule une étude a tenté de schématiser les troubles de l'attention à l'aide du modèle de Van Zomeren & Brouwer (1994), en exploitant chacun des processus attentionnels (Zoccolotti, et al., 2000). Pour ce faire, ils ont utilisé une batterie neuropsychologique spécialisée pour évaluer les processus attentionnels de manière indépendante : le Test of Attention Process (TAP) auprès d'un échantillon de 106 patients. Les résultats montrent qu'un fort pourcentage de patients traumatisés crâniens a obtenu des scores pathologiques aux tests évaluant la composante sélective de l'attention, alors qu'un faible pourcentage a obtenu des déficits dans les tâches relevant de la composante intensive de l'attention. Le pattern de déficit attentionnel majeur dans cette étude était donc le suivant : troubles en attention focalisée et divisée, préservation de la vigilance et de l'alerte phasique. Les auteurs concluent que les déficits attentionnels ne peuvent pas être attribués à un facteur de ralentissement général dans la mesure où certaines composantes sont préservées (temps de réponse des patients non différents des contrôles). Cependant, les résultats des tests neuropsychologiques sont à interpréter avec prudence car nombreux sont ceux qui ont une grande sensibilité mais une faible spécificité (Rousseaux, et al., 2002).

Au vu de la revue de littérature établie dans ce chapitre nous avons tenté de récapituler les déficits observés, faisant ressortir le pattern suivant :

- L'alerte phasique semble **préservée** (sauf d'un point de vue physiologique)
- La vigilance semble **préservée** (mais pas l'attention soutenue)
- L'attention sélective se divise en deux mécanismes : la focalisation semble **préservée** et l'inhibition semble **déficitaire** (seulement lorsque la tâche est complexe)
- L'attention divisée semble **déficitaire**, seulement lorsque la tâche est complexe

Selon Van Zomeren et Brouwer (1994), le ralentissement des processus de traitement de l'information constituerait le principal déficit attentionnel. Pour Azouvi et al. (2002), les résultats doivent être interprétés comme étant liés à la nature de la tâche et non comme le déficit d'un processus attentionnel spécifique. Il semble que quel que soit le processus attentionnel sollicité, les performances des patients ne diffèrent pas trop de celles des contrôles, tant que les tâches ne demandent pas un niveau de contrôle trop élevé. Par contre, si les tâches sont complexes et/ou comportent une charge importante en mémoire de travail ou une pression temporelle, alors les patients sont en difficulté. En revanche, d'autres auteurs ont fait une revue de littérature sur les déficits attentionnels après TC et montrent que les caractéristiques individuelles des patients, comme l'âge, le sexe et même la distance après traumatisme, n'interviendraient pas comme des variables influençant les performances attentionnelles (Mathias & Wheaton, 2007). Selon les auteurs, on peut observer cliniquement une amélioration de l'efficacité attentionnelle au cours du temps, quelle que soit la gravité du traumatisme. Cependant, l'impact de cette variable sur la taille de l'effet (mesure utilisée afin d'exprimer les résultats sommés de différentes études dans une méta-analyse) n'est pas significatif. Ceci suggère que la complexité de la tâche a une influence plus importante et masque complètement l'effet dû aux caractéristiques individuelles.

### c) Anosognosie

En parallèle au tableau clinique dressé dans les paragraphes précédents, on peut observer chez les patients avec TC une anosognosie des séquelles cognitives, qui correspond à une méconnaissance ou un déni du trouble cognitif et comportemental (Oppenheim-Gluckman, Fayol, De Collason, Dumond, & Azouvi, 2003). Ce déni est à distinguer de celui envisagé comme mécanisme psychologique de défense dans les théories psychanalytiques, il s'agit ici d'un défaut de prise de conscience des troubles qui semble concerner l'ensemble des processus cognitifs et touche particulièrement les interactions sociales (Joseph, Aubin, & Le Gall, 1995). L'anosognosie est donc un trouble neuropsychologique par essence, un produit direct de la lésion cérébrale. Selon Langevin et Le Gall (1999), ce serait l'expression d'un mauvais jugement immédiat et prospectif du handicap ou de l'incapacité liée au trouble, plutôt que sa méconnaissance ou l'absence de prise de conscience, faute d'accessibilité. Dans cette définition de l'anosognosie, l'existence du trouble est reconnue, représentée, mais n'est pas positionnée dans une problématique personnelle et sociale. L'expérience clinique montre que de nombreux patients traumatisés crâniens n'ont pas conscience de la sévérité et de la nature des désordres cognitifs ou troubles du comportement perturbant gravement leur vie quotidienne (Prigatano, et al., 1984). L'absence de prise de conscience se traduit par une mauvaise adaptation des interactions sociales, le patient s'avérant incapable de juger l'impact de son comportement sur les autres individus.

L'évaluation de l'anosognosie est basée sur des questionnaires que l'on peut faire remplir au patient, à ses proches, ainsi qu'aux thérapeutes. L'anosognosie a des implications majeures pour la rééducation, car c'est un élément important de restructuration et

d'intégration de nouvelles acquisition affectives et cognitives durant la phase de récupération (Prigatano & Schacter, 1991, cités par Joseph, et al., 1995, p. 256).

### 1.3 Récupération fonctionnelle spontanée

Contrairement aux autres cellules du corps, les cellules du système nerveux central ne se régénèrent pas ; pourtant, à la suite d'affection du système nerveux central (traumatisme crânien ou accident vasculaire cérébral par exemple), on constate souvent une récupération spontanée de la fonction. Qu'elle soit motrice ou cognitive, cette récupération est considérée comme le résultat de réorganisations anatomiques du système nerveux qui tenteraient de compenser les désordres engendrés par la lésion (Belin, 1999). Elle est plus marquée et rapide durant les six premiers mois suivant la lésion puis devient plus lente et de moins en moins importante au fil des années. Cette récupération peut être très variable d'un individu à un autre et les mécanismes qui la sous-tendent sont variés. Lors de la récupération fonctionnelle, on décrit les phénomènes de plasticité cérébrale, de vicariance et de levée du diaschisis (Belin, 1999). Chacun de ces mécanismes met en jeu des processus neuro-biologiques distincts les uns des autres, respectivement : la récupération par réorganisation tissulaire, la réorganisation entière de réseaux fonctionnels et la récupération par levée de processus d'inhibition (Mazaux & Joseph, 2000).

- **Mécanisme de plasticité cérébrale**

Longtemps, les scientifiques ont cru que le cerveau, une fois mature, se caractérisait par la stabilité de ses connexions, jugées immuables. Depuis une trentaine d'années, cette vision de la structure et du fonctionnement cérébral a volé en éclats. Grâce à la plasticité cérébrale, le cerveau modifie l'organisation de ses réseaux de neurones en fonction des expériences vécues par l'organisme. Elle peut résulter d'un apprentissage, d'une stimulation environnementale, d'une adaptation cérébrale. La théorie de la plasticité cérébrale suggère que ce type de récupération est le résultat d'une **restitution de la fonction**. La fonction va continuer d'être desservie par les mêmes aires cérébrales, sauf qu'elles vont connaître un renouveau grâce à la colonisation de sites synaptiques devenant vacants (sites endommagés). Elle peut être due à une poussée axonale, la naissance de nouvelles fibres ou une augmentation des branches dendritiques favorisant le bourgeonnement. Toutefois, à l'échelon cellulaire, la repousse axonale serait presque inexistante dans le système nerveux central, même si elle est théoriquement possible, elle est assez tardive et non complète (Mazaux & Joseph, 2000).

- **Vicariance**

La vicariance est une notion proche de celle de plasticité cérébrale et correspond à la prise en charge d'une fonction cérébrale liée à une zone lésée par une autre zone cérébrale saine, non nécessairement proche sur le plan anatomique (Belin, 1999). La théorie de la vicariance suggère une récupération par **réorganisation ou substitution**. Il existerait au niveau cérébral des « synapses-silencieuses » qui permettraient de favoriser une fonction particulière mais qui sont normalement inhibées. Lorsque le système inhibiteur est déficitaire, on assiste à une récupération de la fonction déficitaire (desservie au préalable par les aires lésées) par ce système « sous silence ». Cette réorganisation des réseaux fonctionnels neuronaux s'effectue soit par la mise en jeu de synapses inactivées depuis les apprentissages de l'enfance, soit par l'implication de structures anatomiques ne participant pas jusqu'alors à la fonction considérée. Le deuxième type de réorganisation joue probablement un rôle plus important.

- **Diaschisis**

Le phénomène de diaschisis est observé lorsqu'une lésion locale dans le cerveau entraîne la dégénérescence des cellules nerveuses et de leurs fibres, soit dans son voisinage par les fibres d'association, soit à distance par les fibres commissurales. L'importance du diaschisis apparaît comme étant proportionnelle à la taille de la lésion. Ce phénomène s'observe dans les zones cérébrales où les destructions cellulaires ne sont pas définitives, il s'agit d'une perte temporaire de la fonction dans une région adjacente ou dans une région connectée à l'aire endommagée. La théorie référant au mécanisme de levée de diaschisis suggère une récupération par **levée de processus d'inhibition**.

La question de l'évaluation de la récupération spontanée est complexe, d'une part parce que les mécanismes qui la sous-tendent, le rôle que joue chacun d'entre eux ainsi que leur degré d'implication lors de la phase de récupération spontanée sont encore mal connus ; et d'autre part parce que le nombre de variables à prendre en considération est très élevé. D'après Seron (2000), les variables pertinentes et pouvant influencer la récupération spontanée peuvent être d'ordre psychologique, médical, sociologique et culturel. De plus, ces variables peuvent être analysées à différents moments : avant, pendant et après la lésion. Malgré ces difficultés d'évaluation, un constat s'impose : la récupération spontanée a des limites temporelles. Il s'agirait d'un phénomène dont l'ampleur diminue au cours du temps, elle serait rapide au début de la lésion et ralentirait au fur et à mesure que l'on s'éloigne du moment de l'atteinte cérébrale (Seron, 2000). Une étude s'intéressant à la récupération spontanée chez des patients avec accident vasculaire cérébral (Jørgensen, et al., 1995), montre que les lésions du système nerveux central « récupèrent » à 80 % dans les six premiers mois, 10% de six à douze mois et le pourcentage pour les années qui suivent serait encore méconnu. La récupération spontanée durant la phase aiguë serait alors largement attribuable au phénomène de diaschisis, alors que la récupération ultérieure résulterait d'autres mécanismes. Une étude s'est particulièrement intéressée à la récupération cognitive après un TC (Christensen, et al., 2008) et a obtenu des résultats consistants avec la recherche précédente en montrant que la récupération durant la première année est asymptotique de nature. De plus, ils suggèrent que la récupération n'est pas uniforme dans tous les domaines cognitifs. Ils ont effectué un bilan neuropsychologique composé de tests évaluant divers processus cognitifs et ceci à trois reprises : à deux, cinq et douze mois suivant le TC. Les résultats montrent une amélioration plus rapide dans les tests requérant les fonctions visuo-motrices, alors qu'elle serait plus lente pour les tâches d'attention sélective, de contrôle cognitif et de résolution de problème.

Malgré la possible intervention de ces mécanismes permettant de récupérer la fonction, le retentissement du traumatisme dans la vie courante n'est pas négligeable. En effet, ce type de mécanisme de réorganisation du cerveau peut être observé sans pourtant qu'il y ait une amélioration clinique. L'intérêt de la rééducation cognitive prend alors une ampleur considérable. En stimulant les processus cognitifs, les programmes de rééducation vont mettre en jeu le mécanisme de plasticité cérébrale et ainsi améliorer les fonctions cognitives déficitaires. L'apprentissage et la redondance des exercices proposés en rééducation peuvent aboutir à une floraison axonale de part l'expérience acquise. A la lumière des données de la littérature, il semblerait judicieux de mettre en place un programme de rééducation durant la première année qui suit le traumatisme. Etant donné que la récupération est plus rapide durant cette période, les patients traumatisés crâniens seraient plus réceptifs à la rééducation cognitive. Par conséquent, la récupération de la fonction s'établit de manière spontanée mais peut être guidée, améliorée ou accélérée suite à une intervention de la part des thérapeutes



dans un cadre rééducatif. On parle de rééducation « inductrice » de plasticité ou de plasticité « dépendante » d'expérience (Robertson & Murre, 1999).

## **2. Conduire après un traumatisme crânien**

Le pattern de troubles faisant suite à un traumatisme crânien est lourd de conséquence et peut générer des changements tant sur les plans personnel et familial, que social et professionnel. Il s'agit d'une épreuve pour la personne ayant subi le traumatisme crânien ainsi que pour l'entourage familial. Les familles peuvent avoir l'impression d'accueillir un être différent, de se retrouver confronté à un « étranger », ce qui peut fragiliser tout l'environnement familial. Le retentissement du traumatisme peut s'élargir à la sphère du travail, en effet il est courant qu'une personne avec TC ait des difficultés à reprendre le travail dans la première année qui suit un TC. Enfin, les déficits cognitifs peuvent impacter les activités de vie quotidienne, des plus basiques aux plus complexes, comme la conduite automobile.

Les patients traumatisés crâniens ont une haute considération de l'activité de conduite, qui est synonyme de liberté et d'indépendance. La conduite automobile est même considérée comme partie intégrante du processus de réhabilitation sociale (Rapport, et al., 2006). Ces auteurs montrent que parmi les patients traumatisés crâniens, ceux qui ont repris la conduite automobile ont de meilleurs objectifs d'intégration communautaire.

### **2.1 Législation française**

L'incidence des traumatismes crâniens est élevée en France, cependant la question de la reprise de la conduite automobile ne concerne pas automatiquement tous les patients. En effet, cette question sera largement simplifiée pour les patients ayant très bien récupéré ou ceux qui sont trop sévèrement atteints. En ce qui concerne la législation française, selon l'arrêté du 21 décembre 2005, tout conducteur est supposé s'assurer de son aptitude à conduire (cf. annexe 4). Cet arrêté fixe la liste des affections médicales incompatibles avec l'obtention du permis de conduire, ou pouvant donner lieu à la délivrance de permis de conduire de durée de validité limitée et abroge l'arrêté du 07/05/1997 relatif à la liste des incapacités incompatibles (Fattal, et al., 2006). La différence majeure entre ces deux arrêtés réside dans le fait que la directive européenne 2000/56/CE a associé aux troubles comportementaux le terme spécifique de troubles cognitifs dans la nouvelle version. Très récemment un nouvel arrêté a vu le jour (31 août 2010) abrogeant celui de 2005, il s'agit d'une actualisation des conditions minimales d'aptitude concernant seulement certaines affections (épilepsie, diabète et troubles de la vision). Suite à l'une des affections recensées dans la liste, le permis de conduire n'est plus valide. Ainsi, les personnes ayant subi un TC et ayant des séquelles cognitives pouvant se reporter sur la conduite doivent se rendre à la préfecture par démarche personnelle et demander à passer devant la Commission Médicale du permis de conduire (Le Thiec, Jokic, Picard, & Prime, 1998) (cf. annexe 5 : Démarche pour l'obtention d'un permis aménagé). Cette visite médicale est organisée par la commission médicale primaire et constituée de médecins généralistes spécialistes qui sont chargés de statuer de l'aptitude ou de l'inaptitude du sujet à reconduire. En cas d'aptitude, la personne se présente à l'examen technique (pas systématique) qui ne comporte que l'épreuve pratique où l'inspecteur vérifie que les aménagements du véhicule proposés par la commission médicale (s'ils ont lieu d'être) sont adaptés et correctement utilisés en condition de circulation. Il ne s'agit pas d'un examen proprement dit, puisque l'inspecteur ne vérifie pas la compétence de

conduite. En cas d'inaptitude, le retrait du permis est immédiat, mais il existe des possibilités de faire des recours devant d'autres commissions.

Malgré l'amélioration de l'arrêté, quelques problèmes persistent dans cette législation (Le Thiec, et al., 1998). Le problème principal est lié au fait que ce soit le patient qui doit lui-même effectuer la démarche de se présenter à la préfecture pour demander à passer devant la commission. Or, certains patients sont anosognosiques, donc inconscients de leurs troubles, ceci constituant alors un véritable paradoxe. Ces personnes ne perçoivent pas le danger et se jugent totalement aptes à reprendre la conduite, c'est ainsi que beaucoup de patients indépendants physiquement n'ont aucun scrupule à conduire alors qu'on le leur déconseille. De plus, l'équipe soignante étant tenue au secret professionnel, elle se doit de garder l'anonymat du patient et ne peut contacter la préfecture pour la prévenir (Fattal, et al., 2006). Le fait que la démarche soit volontaire implique un autre problème, concernant cette fois-ci les patients non anosognosiques. Ces patients ont conscience de leurs troubles mais ils peuvent ne pas en tenir compte afin d'éviter d'être mis à l'écart par le monde environnant. En effet, conduire représente bien plus qu'une activité permettant la mobilité, notamment pour les jeunes, en permettant d'augmenter la liberté et la position sociale (Brooks & Hawley, 2005). Ainsi, l'anosognosie et le manque de considération des manifestations cognitives liées à la lésion, amènent souvent le patient à prendre la décision de la reprise de conduite, sans tenir compte de l'avis de l'équipe hospitalière.

Le deuxième problème réside dans la complexité de la tâche attribuée à la commission préfectorale. En effet, en France, comme dans beaucoup d'autres pays, les critères d'aptitude à reconduire après une lésion cérébrale sont vagues. Il n'y a pas de définition claire des indicateurs de mesure de la capacité à conduire, par conséquent, ils sont plus basés sur le bon sens que sur des critères fiables (Brouwer & Withaar, 1997). Ce manque de précision peut ainsi entraîner des divergences de jugement selon le médecin qui s'en occupe.

Enfin, les textes de lois en France laissent le médecin spécialiste de la commission, juger seul de l'aptitude de la personne à la conduite. De plus, l'évaluation porte sur des critères cliniques et paracliniques et peut sembler restreinte. En effet, il n'y a aucune exigence d'évaluation neuropsychologique, ni de mise en situation de conduite automobile (Le Chapelain & André, 1999). Les médecins peuvent, avant de porter toute indication, demander l'examen de l'intéressé par un ou plusieurs spécialistes, mais seulement s'ils le jugent utile. Si le médecin se fonde sur le profil clinique du patient, il est probable que les troubles cognitifs passent inaperçus. Les limites d'ordre neuropsychologique imposées pour la reprise de la conduite automobile après TC restent floues et l'incapacité physique domine encore largement la liste des incapacités (Léon-Carrion, Dominguez-Morales, & Barroso y Martin, 2005). Ainsi, le caractère aléatoire et inconstant des bilans complémentaires peut porter préjudice.

Pour conclure, ces problèmes législatifs peuvent amener certains patients traumatisés crâniens à reprendre la conduite automobile dans deux conditions inadéquates : ils peuvent par exemple reconduire sans être passés devant la commission préfectorale, ou après avoir été jugés aptes par la commission qui n'a pas pris en considération les déficits cognitifs du patient. Ainsi, la reprise de l'activité de conduite après un TC peut représenter un véritable danger. Ce danger est mis en évidence au travers des différentes études accidentologiques.

## 2.2 Données accidentologiques

Les patients traumatisés crâniens ont des troubles neuropsychologiques bien reconnus et portant sur des fonctions cognitives mises en jeu lors de l'activité de conduite automobile. De ce fait, il n'est pas surprenant qu'un patient rencontre des difficultés en tâche de conduite suite à son TC. Ce lien est malheureusement double, d'une part les accidents de la route constituent la cause principale des TC et d'autre part, le TC va engendrer des troubles qui vont être autant d'obstacles à la reprise de l'activité de conduite automobile après l'accident.

D'après Hawley (2001), l'existence de problèmes qui peuvent significativement affecter la conduite automobile n'empêche pas les patients de reprendre la conduite après leur TC. Parmi les 381 patients inclus dans leur étude, 139 ont repris la conduite tout en reconnaissant avoir des déficits cognitifs et notamment des troubles mnésiques (64%), comportementaux (agressivité, irritabilité) (48.2%) et des difficultés attentionnelles ou de concentration (28.1%). Hopewell & Price (1985) font partie des premiers auteurs à avoir quantifié le nombre de patients ayant repris la conduite automobile après un TC. Ils ont fait une étude de suivi (follow-up) auprès de 56 patients traumatisés crâniens et montrent qu'à six mois du traumatisme, le taux de reprise de la conduite de ces patients était de 50%. Afin de mieux comprendre le lien entre l'activité de conduite et la pathologie du TC, Fisk et al. (Fisk, Schneider, & Novack, 1998) ont fait une étude sur le statut du conducteur et l'évaluation de la compétence de conduite. Parmi les 83 patients traumatisés crâniens inclus (modérés à sévères), 60% ont déclaré avoir repris la conduite automobile. Ces conducteurs ont tous rapporté avoir eu un avis favorable (par un professionnel de la santé ou parfois par un membre de la famille), mais 63% n'ont pas été professionnellement évalués pour leur capacité de conduite. Les auteurs concluent qu'une haute exposition à l'activité de conduite couplée au manque d'évaluation de l'aptitude à la conduite laisse présager que les patients traumatisés crâniens ont des caractéristiques qui peuvent augmenter leur risque d'implication dans des accidents routiers. Les études précédentes ont mis en avant le nombre de patients ayant repris la conduite automobile sans forcément être passés devant la commission ou sans avis favorable, on peut alors se demander quelle est la part des conducteurs qui suivent le circuit administratif. D'après Ponsford et al. (Ponsford, Olver, & Curran, 1995), le nombre de patients traumatisés crâniens (à deux ans du TC) ayant repris la conduite, après avoir été jugés aptes, est de 38% (sur 175 patients inclus). Brouwer & Withaar (1997) ont fait une revue de littérature et montrent que le taux de ré-obtention du permis pour des patients TC sévères est de 50%, autrement dit la moitié d'entre eux ne sont pas jugés aptes à la conduite. Les patients jugés inaptes sont majoritairement ceux qui ont eu une longue durée d'amnésie post-traumatique et ceux qui avaient des troubles sévères de la perception et du jugement. Les auteurs en concluent que les tests d'aptitude à la conduite ne doivent pas se contenter de focaliser seulement sur les capacités opérationnelles (comme la vision) mais doivent inclure une mesure des fonctions exécutives et de l'attention.

Concernant les données accidentologiques, plusieurs études rétrospectives ont été menées avec pour objectif d'investiguer le taux d'accidents de la route chez les patients cérébro-lésés. Bien que les études s'intéressant à l'impact d'un handicap physique sur la conduite automobile convergent toutes en direction d'une absence de relation, celles qui s'intéressent au handicap cognitif sont moins précises sur leurs conclusions. Dans l'étude de Hopewell & Price (1985) décrite ci-avant, une deuxième partie était dédiée au suivi de 30 patients avec TC ayant repris la conduite depuis une période de deux ans. Ils montrent que six sujets (20%) de ce groupe ont comptabilisé au moins neuf accidents depuis la reprise de la conduite. Les auteurs ont ensuite considéré le taux de risque d'avoir un accident pour une population à caractéristiques équivalentes (jeunes hommes), mais sans lésion cérébrale ; il

était de 8.7%. Le taux de risque de 20% chez les patients, rapporté à celui des sujets sains, fait d'eux un groupe à haut risque d'accident de la route. Pourtant, Van Zomeren et al. (Van Zomeren, Brouwer, & Minderhoud, 1987) obtiennent des conclusions différentes, lors d'une revue de littérature portant sur l'implication d'une lésion cérébrale (toutes origines confondues) sur le comportement routier. Ils montrent qu'en général, les statistiques concernant le taux d'accidents routiers ne permettraient pas de considérer les personnes avec lésion cérébrale comme faisant partie d'un groupe à haut risque. Selon ces auteurs, les patients font bien plus d'erreurs de conduite et ont un comportement moins adapté. Cependant ceci ne s'objectiverait pas forcément à travers le taux d'accident de la route. Leurs interprétations seraient en faveur de la mise en place d'une compensation des déficits moteurs et cognitifs par une adaptation de leur style de conduite. Formisano et al. (Formisano, et al., 2005) ont fait une étude bien plus récente concernant les données accidentologiques des patients avec TC uniquement et aboutissent à des résultats qui corroborent les premiers travaux de Hopewell & Price (1985). Ils ont inclus 90 patients avec TC sévère, dont 32 % avaient repris la conduite automobile. Ils ont fait remplir un questionnaire aux « aidants proches » et à la famille pour savoir si le patient avait repris la conduite automobile et si oui, s'il avait été impliqué dans un accident routier depuis. Le fait de ne pas s'adresser directement au patient permet d'éviter le biais de la fausse information que pourrait délivrer les personnes avec TC. Les résultats montrent que parmi les patients ayant repris la conduite, 38% avaient été impliqués dans au moins un accident (les accidents mineurs n'étaient pas comptabilisés). Les auteurs ont ensuite rapporté ces chiffres à ceux obtenus pour la population générale (en Italie), ce qui leur a permis de conclure qu'une personne ayant subi un TC à un risque 2.3 fois plus élevé d'avoir un accident de la route que les conducteurs sans lésion cérébrale. Une analyse plus précise des caractéristiques des patients montre que le risque est encore plus élevé pour les patients avec TC sévère ou ayant eu un coma de plus de 48 heures. Enfin, les patients de l'étude étaient très loin du traumatisme (trois à cinq ans), les auteurs suggèrent alors que le temps d'exposition à la conduite ne permet pas de diminuer le risque encouru. A l'inverse, ils l'expliquent par une augmentation de leur confiance en conduite, induisant un comportement moins prudent lors de cette activité. Schultheis et al. (Schultheis, Matheis, Nead, & DeLuca, 2002) se sont intéressés au comportement du patient traumatisé crânien ayant repris la conduite après avoir été jugé apte à la conduite. Il montre que parmi cette population spécifique (on ne parle pas ici des patients qui conduisent sans avoir été évalués ou après avoir été évalués comme inaptes), le nombre d'accidents de la route n'est pas significativement supérieur à un groupe de sujets sains. Ces résultats suggèrent que les patients traumatisés crâniens sont capables de reconnaître les changements ou difficultés dans leur comportement de conduite et ainsi d'implémenter des stratégies compensatoires. Les auteurs concluent que les patients traumatisés crâniens qui réussissent l'évaluation de conduite sont capables de réintégrer la communauté de la conduite sans trop de difficulté.

La plupart des études accidentologiques mettent en évidence chez le patient traumatisé crânien un comportement moins sécuritaire (plus d'erreurs de conduite) ou a fortiori un taux d'accident plus élevé. Par conséquent, nous sommes en mesure de nous demander quels sont les facteurs qui peuvent contribuer à l'augmentation du risque d'accident chez des personnes avec TC. Selon Hopewell (2009), ceci peut être attribué dans un premier temps à des facteurs psychologiques (par ordre d'importance) : la compétence de conduite et l'historique des accidents avant le TC, la personnalité générale du patient et son attitude, le pattern d'abus de substance/alcool, l'ampleur et la nature des troubles psychiatriques, et les habiletés psychomotrices basiques. Dans un second temps, ce sont les facteurs cognitifs, souvent déficitaires après un TC, qui sont considérés comme critiques pour la conduite s'ils sont atteints. Ces deux types de facteurs sont liés du fait qu'un déficit cognitif peut avoir un impact

sur un ou plusieurs facteurs psychologiques. Un patient avec syndrome frontal peut par exemple avoir des troubles cognitifs engendrant un comportement et un style de conduite agressif.

### **2.3 Évaluation des performances de conduite après un traumatisme crânien**

Les cliniciens sont souvent confrontés à la question de la reprise de la conduite automobile, mais ne peuvent garantir que les patients auront toujours une conduite sécuritaire ou exploiteront leurs aptitudes au maximum. Il est assez aisé de prédire les adaptations nécessaires du véhicule pour palier les déficits physiques d'une personne cérébro-lésée, alors que l'évaluation du retentissement des atteintes cognitives sur la vie quotidienne du patient, en particulier sur ses capacités à conduire, demeure difficile (Tricot Le Mestric, et al., 2000). Ainsi, l'aptitude à la conduite automobile des patients traumatisés crâniens est difficilement évaluable et cette difficulté de mesure s'observe aussi pour d'autres pathologies ou populations ayant des déficits pouvant impacter la tâche de conduite (les personnes âgées par exemple). Cette difficulté d'évaluation peut être attribuée à plusieurs raisons : (1) tout d'abord parce que l'activité de conduite est une activité complexe qui fait intervenir un grand nombre de mécanismes bien distincts (cognitifs, perceptifs, moteurs...) ; (2) ensuite parce qu'un TC va regrouper toute une sémiologie variée (déficits sensoriels, difficultés motrices, troubles cognitifs, déséquilibres au niveau comportemental et de la personnalité...), ce qui représente un grand nombre de facteurs de risques ; (3) enfin, parce que les caractéristiques pré-morbides (comportement général de la personne au volant de la voiture, taux d'accident avant TC) peuvent renseigner et avoir une influence sur l'aptitude future du patient à reprendre la conduite automobile. Tous ces facteurs sont rarement pris en compte dans l'évaluation de conduite, mais y contribuent largement (Hopewell, 2009). Pour simplifier ces questions, une personne considérée comme apte à la conduite peut être définie comme une personne qui remplit les critères suivants (Brouwer & Withaar, 1997) : la probabilité d'un changement de comportement soudain doit être faible ; les habiletés perceptives, cognitives et motrices importantes pour l'activité de conduite doivent être suffisantes ; le jugement et la responsabilité sociale doivent être suffisants. Bien qu'il soit délicat de mettre en œuvre une telle évaluation, beaucoup d'études s'y sont attelées. Certaines ont préféré l'évaluation neuropsychologique, tandis que d'autres ont investigué une évaluation plus écologique, sur route ou simulateur de conduite.

En préambule à la description des différentes méthodes évaluatives de la performance de conduite, les choix relatifs à cette section de chapitre vont être précisés au sein d'un argumentaire.

Dans un premier temps, l'étude se focalisera exclusivement sur les facteurs cognitifs et notamment les processus attentionnels, étant donné qu'ils sont susceptibles de limiter la compétence de conduite des patients traumatisés crâniens. En effet, nous avons vu précédemment que l'attention est largement impliquée lors de l'activité de conduite automobile et en même temps représente un des processus cognitifs le plus souvent altéré à la suite d'un TC. Les déficits attentionnels persistent même à distance du traumatisme et peuvent ainsi représenter une véritable entrave à la reprise de la conduite automobile. Une mesure de l'atteinte des troubles attentionnels semble donc nécessaire avant d'envisager la reprise de la conduite (Le Thiec, et al., 1998).

Dans un second temps, la population principale à laquelle nous nous sommes intéressés concerne la population des personnes cérébro-lésées et spécifiquement des patients traumatisés crâniens. Cependant, dans la mesure où les personnes âgées présentent une

diminution de leurs capacités attentionnelles pouvant également se répercuter sur l'activité de conduite (Brouwer, 2002a), nous nous sommes aussi intéressés à l'évaluation de l'aptitude de conduite au cours du vieillissement normal. De plus, le pattern de troubles attentionnels rencontré auprès d'une population de personnes âgées peut se résumer comme suit (selon l'approche analytique) : l'alerte phasique semble préservée, l'attention soutenue semble déficitaire mais la vigilance préservée, l'attention sélective semble déficitaire en conséquence d'une altération des processus inhibiteurs et l'attention divisée serait déficitaire due à une limitation des ressources attentionnelles (Adam, Van der Linden, & Collette, 2002). De toute évidence, le pattern des déficits attentionnels chez une personne âgée est donc proche de celui des patients traumatisés crâniens (cf. paragraphe troubles attentionnels et TC, p. 46). De manière générale, l'approche qui prédomine dans les études s'intéressant à l'attention et au vieillissement normal, est l'approche globale qui postule qu'un petit nombre de facteurs généraux permettent d'expliquer l'intégralité des troubles cognitifs de la personne âgée (Hartley, 1992). Ces facteurs sont la vitesse de traitement de l'information, la capacité d'inhibition, la mémoire de travail et les traitements sensori-moteurs (Adam, et al., 2002).

La conséquence des perturbations de l'attention sur la conduite automobile semble difficile à évaluer car l'objectivation d'un trouble attentionnel lors du bilan neuropsychologique ne signifie pas forcément que l'individu est inapte à la conduite (Auclair & Siéoff, 2005). Plusieurs méthodes seront ainsi développées dans cette section de chapitre (évaluation neuropsychologique, sur route ou sur simulateur de conduite), la plupart auprès d'une population de personnes cérébro-lésées et quelques unes auprès d'une population de sujets âgés sains ou avec pathologie cérébrale.

Brouwer et al. (Brouwer, 2002a, 2002b; Brouwer, et al., 2002) ont tenté de faire le lien entre, l'attention (et le modèle de Michon), les effets des différentes affections neurologiques et l'activité de conduite. Dans le chapitre précédent nous avons vu que le niveau opérationnel de la conduite automobile impliquait une forte pression temporelle, or les patients traumatisés crâniens ont un ralentissement du traitement de l'information. De ce fait, il n'est pas surprenant que ce déficit se répercute majoritairement dans les études qui ont investi l'aspect opérationnel de la conduite (Brouwer, 2002a). Du fait de sa structure hiérarchique, la conduite automobile permettrait de compenser l'effet de la lenteur cognitive par la mise en place de stratégies compensatoires à un niveau stratégique et tactique. Globalement, ces prédictions sont confirmées par les études ayant porté sur des patients traumatisés crâniens mais aussi chez des sujets âgés sains ; ces deux populations présentant un ralentissement mental, à la fois perceptif et cognitif (Brouwer, 2002b). Cependant, ce ralentissement du traitement de l'information doit être majeur pour retentir sur l'efficacité globale de conduite (compte tenu des possibilités de compensation) et ainsi être reconnu prédictif d'une faible compétence dans la conduite automobile (Brouwer & Withaar, 1997). Pour résumer, les processus cognitifs mis en jeu lors de chaque étape du modèle de conduite de Michon sont les suivants : la propre conscience de son état cognitif (métacognition) pour le niveau stratégique, l'attention pour le niveau tactique et la vitesse de traitement pour le niveau opérationnel (Brouwer, 2002a).

### a) Évaluation neuropsychologique en lien avec la conduite automobile

De nombreuses études ont tenté de constituer une batterie de tests neuropsychologiques (avec des tests standardisés existants) dans le but d'évaluer les fonctions cognitives impliquées dans la conduite automobile ; l'objectif étant de statuer sur la possibilité de retour à la conduite pour les patients traumatisés crâniens. L'accent est principalement mis sur les troubles exécutifs, attentionnels, mnésiques ou visuo-spatiaux. D'autres études, moins

nombreuses, ont créé de nouvelles batteries à part entière, dans le but de répondre au mieux à la question de la reprise de la conduite. Il est important de souligner que les tests neuropsychologiques n'évaluent pas directement la performance de conduite d'un individu, mais évaluent des processus cognitifs potentiellement impliqués lors de l'activité de conduite. De manière générale, l'évaluation neuropsychologique en vue d'une reprise de la conduite automobile utilise deux paramètres épidémiologiques : (1) la sensibilité du test, qui permet d'objectiver des troubles cognitifs chez des personnes ayant réellement des difficultés d'ordre cognitif (et pouvant se répercuter sur l'activité de conduite automobile) ; (2) la valeur prédictive, qui correspond à la probabilité d'être jugé inapte à la tâche de conduite lorsque les résultats aux tests neuropsychologiques sont pathologiques (une bonne valeur prédictive permet de régulariser des patients qui auraient été écartés de la conduite à tort) (Fattal, et al., 2000). Cependant, nous allons voir que les données concernant l'intérêt prédictif des tests neuropsychologiques sont contradictoires.

Engum et al. (Engum, Cron, Keith Hulse, Pendergrass, & Warren, 1988) sont parmi les premiers auteurs à avoir développé une batterie de tests neuropsychologiques s'adressant à tout type de population et nommée *Cognitive Behavioral Driver's Inventory*. Cette batterie inclut des tâches visuo-attentionnelles et a été construite avec des mesures neuropsychologiques standardisées, comme le Trail Making Test et quelques subtests de la WAIS. Elle comprend 27 tâches qui permettent d'obtenir un seul score standard. Cette batterie a été administrée auprès de 232 patients ayant des lésions cérébrales d'origines diverses (accident vasculaire cérébral, TC, maladie d'Alzheimer, de Parkinson...) afin de standardiser les tables normatives en fonction des pathologies et du type de population. Les auteurs montrent que sur l'échantillon testé, la batterie a réalisé 95.5% de bonnes prédictions de réussite à l'évaluation sur route (évaluation binaire par un instructeur de conduite : aptitude / non aptitude). Cependant, le succès de cette batterie s'établit dans des cas relativement clairs, comme par exemple chez des patients ayant un score très faible ou très fort. En revanche, lorsque le patient obtient un score moyen, alors il n'y a pas de relation entre le score à la batterie et la performance sur route. De plus, la faiblesse de cette corrélation serait accentuée dans deux types de population : les personnes âgées pour qui la performance de conduite est bien souvent meilleure que ce que la batterie prédisait ; et les patients traumatisés crâniens, qui bien souvent sont jugés inaptes lors de l'évaluation sur route en dépit de performance suffisante à la batterie de tests.

Une autre batterie a ensuite vu le jour : *The Stroke Drivers Screening Assessment (SDSA)*, elle a été construite par Nouri et Lincoln (1994, cités par Radford, Lincoln, & Murray-Leslie, 2004) et s'adresse spécifiquement aux patients ayant subi un accident vasculaire cérébral. Cette batterie peut être administrée en trente minutes et regroupe trois tests cognitifs mettant en jeu l'attention, les fonctions exécutives, les habiletés visuo-spatiales et la mémoire. Les résultats quant à la validité de cette batterie ont montré qu'elle était prédictive à 81% des performances de conduite des patients avec accident vasculaire cérébral. L'évaluation de conduite était effectuée par un instructeur de conduite qui comptabilisait le nombre d'erreurs durant 25 manœuvres spécifiques, en fonction de leurs gravités : fautes majeures, fautes mineures, ou comportement correct. Le jugement global de la compétence de conduite était ensuite regroupé en quatre catégories : conduite sécuritaire, probablement sécuritaire, probablement insécuritaire, définitivement insécuritaire. Enfin, les patients appartenant aux deux premières catégories étaient re-classifiées comme aptes alors que les autres étaient jugés inaptes. Radford et al. (2004) ont ensuite utilisé cette batterie avec pour nouvel objectif de déterminer si elle pouvait être aussi prédictive de l'aptitude à la conduite chez des patients traumatisés crâniens (N=52). Les résultats montrent que 64% des patients ayant échoué et 95% des patients ayant réussi le test sur route, avaient correctement été

classifiés au préalable grâce à la batterie neuropsychologique. Cependant, les auteurs concluent que cette batterie n'est pas adaptée aux patients avec TC et ne représente pas un bon prédicteur de leur aptitude à la conduite. En effet, bien que 71% d'entre eux aient été bien classifiés, la sensibilité à détecter des échecs était seulement de 36%.

The Neurocognitive Driving Test (NDT) a été développé par Schultheis (1998, cité par Hopewell, 2009) et met l'accent sur quatre facteurs critiques à prendre en considération lors de l'évaluation de la conduite, de façon à augmenter sa précision. Ces facteurs sont les suivants : l'utilisation d'un test écologique valide, l'utilisation de mesures objectives des habiletés cognitives liées à la tâche de conduite, l'utilisation d'outil pratique et enfin l'incorporation d'un contexte théorique au développement d'un outil d'évaluation. Ainsi, les auteurs ont développé une batterie informatisée, basée sur le modèle de conduite de Michon et permettant d'évaluer les aptitudes cognitives à la conduite dans des situations écologiques. Le programme comporte quatre tâches : (1) une évaluation des comportements avant la conduite (questionnaire), qui cible l'habileté du patient à identifier correctement l'information pertinente à prendre en considération avant de prendre le volant (planification de route par exemple) ; (2) une tâche de temps de réaction qui fournit des mesures de temps de réaction simple et à choix ; (3) une tâche évaluant le champ visuel qui fournit des mesures du champ visuel gauche et droit du patient ; (4) et une tâche évaluant la performance de conduite lors de quatre scénarios de conduite « réalistes », il s'agissait de petits films lors desquels on demandait aux patients de suivre des panneaux directionnels, des directions verbales, des directions écrites et de réagir à une situation d'urgence. Bien que les auteurs aient conçu ces épreuves en fonction du modèle de la conduite de Michon (1985), ils ne spécifient pas le lien existant avec chaque niveau hiérarchique du modèle. Cependant, il semblerait que la première tâche (questionnaire) soit liée au niveau stratégique, la deuxième et la troisième au niveau tactique et nous pouvons supposer que la dernière est liée au niveau opérationnel. La validité de cet outil a ensuite été étudiée auprès d'une population de 15 patients traumatisés crâniens (Schultheis, Hillary, & Chute, 2003). L'évaluation sur route réelle était réalisée par un instructeur qui quantifiait les performances de conduite du patient à l'aide d'un score de 1 à 15. De la même façon, le NDT aboutissait aussi à un score établi sur une échelle similaire. Les résultats montrent que cette batterie aurait une précision de 80% pour catégoriser l'aptitude à la conduite des patients avec TC.

En parallèle à ces créations de batteries de tests, d'autres études (majoritaires) ont utilisé des épreuves neuropsychologiques déjà standardisées, dans le but de regrouper les tests les plus pertinents pour l'évaluation des aptitudes de conduite et de vérifier par la suite leur valeur prédictive de la compétence de conduite réelle. Le manque de constance dans le choix des tests retenus peut s'observer à travers les études et s'objectiver à travers les diverses méthodologies utilisées dans les centres de rééducation. D'après Hopewell (2009), certains domaines cognitifs sont tout de même systématiquement évalués dans le bilan neuropsychologique et considérés dans la littérature comme étant importants en vue d'une reprise de la conduite automobile : l'attention/concentration, la vitesse de traitement, la mémoire visuelle, les habiletés visuo-motrices et le fonctionnement exécutif. Nous allons voir que chaque processus cognitif a plus ou moins d'importance selon les auteurs.

Lors d'une première étude, Van Zomeren et al. (1987) montrent qu'il n'y a pas de prédictivité des tests neuropsychologiques sur la performance de conduite. Ils tempèrent plus tard leurs conclusions en montrant que les tests n'ont de validité que s'ils démontrent des troubles des habiletés visuo-motrices (Van Zomeren, et al., 1988). La batterie neuropsychologique utilisée auprès de patients traumatisés crâniens incluait des tests mnésiques, visuo-perceptifs, attentionnels et moteurs. L'évaluation sur route s'effectuait sur un parcours standardisé d'une durée d'une heure, durant laquelle l'évaluateur comptabilisait



les erreurs commises par le conducteur afin de donner un jugement final allant de « très bon » à « insuffisant ». De plus, une mesure du contrôle de la position latérale sur route était effectuée via un véhicule instrumenté. De manière générale, la plupart des patients ont obtenu des scores déficitaires aux tests neuropsychologiques et une déviation du véhicule plus importante comparés au groupe contrôle. L'analyse des corrélations ne montre aucun lien entre le bilan neuropsychologique global et la conduite réelle. Par contre, la position latérale de contrôle, habileté élémentaire de la tâche de conduite, serait spécifiquement corrélées à trois tests neuropsychologiques qui contiennent une importante composante visuo-motrice : le test visuel de Benton, le Trail Making Test A et le Minnesota Rate of Manipulation Test.

Korteling & Kaptein (1996) ont fait une étude dont l'objectif était de développer un outil permettant d'évaluer l'aptitude à la conduite des patients après un TC (N=38). Ils ont caractérisé la prédictivité de quatre tests neuropsychologiques à une évaluation de conduite sur route. Il s'agissait d'une tâche d'attention divisée informatisée liée au contexte de la conduite automobile et de trois tests papier-crayon : un test évaluant la vitesse perceptive, le test des symboles de la WAIS et une tâche d'estimation du temps. La dernière tâche consistait à estimer le temps d'apparition de la couleur jaune d'un feu de signalisation et serait reliée à la vitesse d'estimation du temps lors de l'activité de conduite. La compétence de conduite était jugée par un expert grâce à une échelle en huit points s'intéressant aux aspects temporels et attentionnels, à la flexibilité, à la technique de conduite et aux règles de conduite. Les résultats indiquent que seuls deux tests sont prédictifs de la performance de conduite : le test de vitesse perceptive et d'estimation du temps. Bien que la corrélation soit positive, les tests cognitifs n'expliquent que dans une faible proportion (35,7%) la variance des scores de conduite. De ce fait, les auteurs concluent qu'un test neuropsychologique est insuffisant pour remplacer complètement une évaluation sur route.

La valeur prédictive des tests neuropsychologiques a très tôt été contredite. Brouwer & Withaar (1997) ont établi une revue de littérature et montrent qu'en général les tests neuropsychologiques actuels ne permettent pas de prédire de manière adéquate si un patient va réussir ou échouer son test de conduite sur route. Dans cette revue de littérature, certaines études arrivent tout de même à démontrer une bonne prédictivité des tests, mais seulement lorsque les résultats aux tests cognitifs sont très altérés ou très bons. Les auteurs concluent alors que l'évaluation neuropsychologique ne doit pas avoir comme objectif final de prédire l'aptitude à la conduite et doit plutôt fournir des directions à suivre pour une éventuelle rééducation.

Néanmoins, les tests évaluant la rapidité perceptive et cognitive semblent avoir une bonne valeur prédictive (Fattal, et al., 1998). Ces auteurs ont montré que l'association au sein d'une même batterie, de tests privilégiant l'exploration des aptitudes visuo-spatiales, la vitesse d'exécution et les capacités attentionnelles pouvait être un bon outil de présélection. La batterie de tests utilisée par Fattal et al. (1998; 2000) comprend le Mini Mental Status Examination (MMSE), le Trail Making Test, le test de barrage des étoiles, le test de barrage de lignes, le Code WAIS, le test des Progressive Matrices de Raven et le test de Benton. L'évaluation des aptitudes de conduite en situation réelle était ensuite réalisée par un moniteur d'auto-école à l'aide d'une grille d'examen officielle du permis de conduire. Ces études montrent une bonne prédictivité positive des tests, en revanche les rapports de sensibilité et de spécificité n'étaient pas jugés assez satisfaisants par les auteurs.

En ce qui concerne la pathologie de l'accident vasculaire cérébral, Mazer et al. (Mazer, Korner-Bitensky, & Sofer, 1998) ont évalué les habiletés de conduite de ces patients après l'accident (N=82). L'objectif de cette étude était de déterminer la capacité d'un test perceptif à prédire l'aptitude de conduite. Ils ont cherché par une analyse en régression logistique à établir laquelle des combinaisons de tests était la plus prédictive. Le test sur route était réalisé par un inspecteur du permis qui appliquait la procédure standard utilisé au Québec

(évaluation binaire : apte/inapte). Parmi les neuf tests perceptifs, c'est la combinaison entre un test visuo-moteur et le trail making test B qui s'est avérée la plus prédictive. Les auteurs ont conclu qu'un jugement clinique n'est pas suffisant pour attester de l'aptitude à la conduite d'un patient et qu'une évaluation neuropsychologique fournit une information importante indiquant si le patient a suffisamment récupéré pour être testé sur route.

Schanke & Sundet (2000) se sont eux aussi intéressés à la correspondance entre les résultats aux tests neuropsychologiques et la performance au test de conduite sur route, mais auprès de diverses pathologies neurologiques (43 patients avec accident vasculaire cérébral, 5 patients avec TC, quatre patients avec sclérose en plaques et trois patients avec autres pathologies). Le test sur route était réalisé par un moniteur d'auto-école de l'hôpital à l'aide d'une grille évaluant cinq paramètres de conduite et permettant de calculer un index de conduite s'échelonnant de 0 (pas de troubles) à 5 (difficultés dans tous les paramètres). Les résultats montrent une corrélation positive entre le degré de déficit neuropsychologique et l'échec à l'évaluation de conduite. Les tests ayant la meilleure valeur prédictive sont ceux qui évaluaient les fonctions visuo-motrices, le temps de réaction, l'attention visuelle et la conscience des déficits. Cependant les tests neuropsychologiques fournissent quelques résultats incertains. Les auteurs concluent qu'une évaluation neuropsychologique peut avoir une bonne valeur prédictive à condition qu'elle cible les fonctions spécifiquement mises en jeu lors de la tâche de conduite. L'évaluation sur route serait, pour les auteurs, un supplément dans le cas où les résultats aux tests neuropsychologiques sont ambigus.

Withaar (2000) s'est intéressé à l'implication des troubles de l'attention divisée sur les performances de conduite chez les sujets âgés et chez les patients traumatisés crâniens. Il arrive à une conclusion qui diffère en fonction de la population étudiée. En effet, pour les personnes âgées, les résultats aux tests attentionnels ont permis de différencier les conducteurs qui ont réussi le test de conduite sur route de ceux qui ont échoué. En revanche, pour le groupe de personnes avec TC, il est très difficile de séparer les patients aptes à la conduite des patients inaptes en se basant sur l'unique score des tests neuropsychologiques. Selon Withaar, cette différence s'explique par la mise en place de mécanismes de compensation chez les personnes avec TC, qui vont permettre d'améliorer la compétence de conduite en dépit des déficits cognitifs objectivés par le bilan neuropsychologique.

Fisk et al. (Fisk, Novack, Mennemeier, & Roenker, 2002) ont étudié l'évaluation des aptitudes de conduite après un TC à l'aide de l'Useful Field Of View (UFOV). Le champ visuel utile représente la vision périphérique fonctionnelle à laquelle on prête attention. Il se mesure grâce à un instrument nommé UFOV et est souvent déficitaire chez les personnes avec TC, accident vasculaire cérébral ou chez les personnes âgées. La vision périphérique est très utile lors des activités dynamiques comme la conduite automobile, c'est ce qui a amené les auteurs à se demander dans quelle mesure l'UFOV peut être perturbé après un TC et peut impacter la performance de conduite. Les résultats ont montré que les personnes avec TC (N=23) ont une perte fonctionnelle de la vision périphérique comparées à un groupe contrôle (exempt de toute lésion cérébrale). Par contre, l'étude n'incluait pas de test sur route ; le lien entre les performances à l'UFOV et la capacité de conduite était donc simplement suggéré et non vérifié empiriquement. L'UFOV étant un bon prédicteur du nombre d'accidents de la route chez les personnes âgées (Owsley, et al., 1998), les auteurs concluent qu'il pourrait alors servir d'indice prospectif pour les patients avec TC. Plus récemment, Novack et al. (2006) ont fait une étude ayant le même objectif mais en tentant de répondre aux limites de l'article précédent en incluant une évaluation sur route réelle (réalisée par un évaluateur de conduite qui indiquait seulement si le patient avait réussi le test). Les résultats ont montré une relation significative entre les performances à l'UFOV et les performances au test sur route chez des patients traumatisés crâniens (N=60). Le sub-test qui prédisait au mieux la performance de conduite était le sub-test « attention divisée » de l'UFOV, à l'inverse le sub-

test « vitesse de traitement » n'était pas corrélé à la performance sur route. Bien qu'il existe des liens entre la performance à l'UFOV et la performance de conduite sur route, cet outil manque de spécificité au niveau attentionnel de notre point de vue. En effet, il ne permet pas de mesurer chaque processus attentionnels de manière indépendante.

McKenna et al. (McKenna, Jefferies, Dobson, & Frude, 2004) font partie de ceux qui ont obtenu une des valeurs prédictives les plus élevées de l'aptitude à la conduite automobile grâce aux tests neuropsychologiques. Leur objectif était de regrouper des tests pertinents pour la conduite automobile et d'examiner leur valeur prédictive en termes de sensibilité et de spécificité auprès de patients avec TC et autres pathologies neurologiques (N=142). Leur batterie évaluait ainsi : (1) l'habileté à analyser le monde visuel, grâce à des tâches mettant en jeu la perception des formes, l'appréciation visuo-spatiale et l'attention visuelle ; (2) l'habileté à contrôler le mouvement de la voiture, grâce à une tâche praxique ; (3) et l'habileté à surveiller le trafic routier, grâce à des tâches attentionnelles et exécutives. Cette batterie comprenait 12 tests et le temps d'administration était de 30 minutes. Les capacités de conduite étaient évaluées par un inspecteur du permis de conduire donnant lieu à un score s'échelonnant de 0 à 5. Deux catégories ont été constituées, les patients âgés de 20 à 69 ans étaient considérés comme « jeunes » alors que ceux de 69 à 85 ans comme « âgés ». Les résultats diffèrent en fonction de l'âge des participants, en effet, parmi les patients âgés de moins de 69 ans (jeunes), la batterie a démontré une valeur prédictive de 100% à l'inaptitude au test sur route, alors que la précision était de 84% pour les patients âgés de plus de 70 ans. La prédiction concernant l'aptitude au test sur route était elle aussi moins précise. Les auteurs concluent que cette batterie représente un bon outil pour déterminer si une personne va adopter une conduite sécuritaire, en revanche elle doit être utilisée avec précaution pour les conducteurs plus âgés.

Certains auteurs (Carroz, Comte, Nicolo, Dériaz, & Vuadens, 2008) ont adopté une démarche toute autre, en comparant la valeur prédictive des tests neuropsychologiques avec la valeur prédictive d'une autre méthode d'évaluation. L'objectif de ces auteurs était d'analyser si la décision finale de l'expert médical se fondait plus sur les résultats d'un bilan neuropsychologique que sur ceux d'un simulateur de conduite. Les résultats montrent une forte corrélation entre l'avis fondé sur les résultats du simulateur de conduite et l'avis final de l'expert (sensibilité de 84% et spécificité de 100%), alors que la corrélation est modérée en ce qui concerne la concordance des avis entre le neuropsychologue et l'expert médical (respectivement 63% et 71%). Les auteurs concluent que l'avis neuropsychologique est souvent plus négatif ou plus incertain quant aux réelles aptitudes à la conduite d'un patient comparé à l'avis basé sur l'évaluation sur simulateur de conduite.

Concernant les personnes âgées, une des premières approches ayant pour objectif d'identifier les conducteurs adoptant une conduite non sécuritaire, était d'utiliser des tests généraux de performance mentale. Ainsi, le Mini Mental State Examination a été utilisé de nombreuses fois, son score étant corrélé à la performance sur route pour certains auteurs (Fitten, et al., 1995; Odenheimer, et al., 1994) et critiqué par d'autres (O'Neill, et al., 1992). L'utilisation d'un test unique permet de donner une impression générale du fonctionnement cognitif, mais ne semble pas suffisant. La deuxième approche consistait alors à combiner plusieurs tests pour constituer une batterie (Marottoli, et al., 1998; Stutts, Stewart, & Martell, 1998), de la même façon que pour la population de patients traumatisés crâniens. Plus récemment, Mathias & Lucas (2009) ont effectué une méta-analyse avec pour objectif d'identifier les meilleurs prédicteurs cognitifs d'une inaptitude à la conduite automobile chez des conducteurs âgés. La méthodologie adoptée consistait à relever chaque test neuropsychologique utilisé dans les diverses études et à observer quelle était leur mesure prédictive pour trois critères de mesures de la compétence de conduite : la performance sur route, la performance sur simulateur de conduite et le nombre de problèmes de conduite

(accident, erreurs...). Cette méta-analyse révèle une variabilité considérable des tests neuropsychologiques choisis par les auteurs des différentes études, bien que certains soient utilisés par plusieurs d'entre elles (le TMT et l'UFOV sont les seuls à avoir été utilisés dans plus de trois études). Les résultats montrent une grande variation de la validité prédictive des tests selon les études avec tout de même une exception : l'UFOV, pour lequel les auteurs seraient en accord pour dire qu'il est un bon prédicteur de la performance de conduite. De manière générale, ce sont les tests attentionnels (principalement le TMT et le test de Stroop) qui permettraient de discriminer au mieux les conducteurs âgés comme étant inaptes/aptes à la conduite (Mathias & Lucas, 2009).

Très peu d'études se sont conceptualisées en se référant à un modèle théorique de la conduite. Dans les études recensées, un seul modèle conceptuel a été utilisé pour orienter les choix de l'évaluation neuropsychologique, c'est le modèle de Michon (1985). Ainsi, Lundqvist et Rönnberg (2001) ont choisi des tests neuropsychologiques en fonction de l'aspect du modèle de conduite qu'ils sont censés évaluer : l'aspect stratégique, tactique ou opérationnel. Afin d'estimer les conséquences des altérations cognitives sur la performance de conduite, ils ont utilisé une batterie de tests neuropsychologiques pour identifier les fonctions cognitives pertinentes pour l'activité de conduite (traitement dynamique de l'information). Cette petite batterie de tests comprenait : le TMT B, trois tests informatisés (non normés) permettant de mesurer l'inhibition et la vitesse de traitement de l'information, l'attention focalisée, et l'attention divisée, et un test d'empan auditif mettant en jeu la mémoire de travail. Le test sur route était réalisé par un inspecteur du permis qui suivait la procédure standard utilisée en Suède. Les résultats montrent que la batterie de tests pouvait classer correctement 78 à 83% des patients (N=22) à la performance globale de conduite. Les fonctions cognitives reliées de manière significative aux résultats de la performance de conduite étaient l'attention focalisée et divisée, la vitesse de traitement et la mémoire de travail. Les auteurs concluent par conséquent qu'une altération cognitive de l'une de ces fonctions serait associée aux limitations de la performance de conduite. Pour mieux comprendre comment se manifestent les difficultés des patients au volant, ils ont ensuite interprété les performances de conduite des 22 patients traumatisés crâniens par rapport au modèle de Michon. Au niveau stratégique, c'est la conscience réaliste du conducteur de son propre état cognitif et la responsabilité sociale qui influenceraient les performances. Ainsi, une personne ayant une confiance exacerbée ou altérée de ses capacités de conduite (patient anosognosique par exemple), ne va pas prendre les précautions nécessaires à une conduite sécuritaire. Un patient qui a conscience d'avoir un ralentissement du traitement de l'information, pourrait par exemple prévoir de ne conduire que durant les heures « creuses », où le trafic est faible. Si la conscience est altérée, il ne sera pas en mesure de le faire, ce qui va impacter négativement la compétence globale de conduite. Au niveau tactique, les problèmes de conduite se révèlent principalement par l'altération de l'attention. Une attention anticipatrice insuffisante de la position et de la vitesse des autres usagers de la route peut par exemple entraîner des jugements incorrects et des marges de sécurité insuffisantes. Au niveau opérationnel, c'est la vitesse de traitement de l'information qui intervient comme variable majeure. Or, après un TC ou chez les sujets âgés, on observe fréquemment une altération de la vitesse de traitement (lenteur mentale), pouvant alors se répercuter sur les performances de conduite opérationnelle.

Lorsqu'on tente, grâce à une évaluation des fonctions cognitives, à prédire l'aptitude à la conduite, on se retrouve confronté à plusieurs difficultés méthodologiques qui apparaissent comme étant liées au bilan cognitif lui-même (Fattal, et al., 2006). Pour n'en citer que certaines : les tests ne sont pas univoques (un même test peut impliquer plusieurs processus

cognitifs), ils ne sont pas tous normés, la structure cognitive hiérarchique de la tâche de conduite est insuffisamment prise en compte (modèle de Michon), l'autocritique du patient est sous-évaluée, etc. En effet, les tests neuropsychologiques évaluent l'intégrité de mécanismes cognitifs séparément, ainsi la nature cognitive et hiérarchique de la tâche de conduite (en termes opérationnel, tactique et stratégique) n'est pas suffisamment prise en considération (Withaar, 2000). Devant la faible validité écologique des tests et l'absence de modèle conceptuel dans la plupart des études, on peut faire l'hypothèse que les tests neuropsychologiques serviront de moins en moins à prédire si le patient sera un bon conducteur ou non, mais permettront plutôt de savoir si le patient est capable d'assumer une évaluation, malgré un certain niveau de troubles, sans mettre en danger l'examineur.

En résumé, il est fort probable d'observer un décalage entre les résultats obtenus à l'évaluation neuropsychologique et la mise en situation réelle. Ainsi, les données concernant l'intérêt prédictif des tests neuropsychologiques sont souvent contradictoires. La majorité des auteurs concluent à l'absence de corrélation entre les performances de conduite et les tests neuropsychologiques (Brouwer & Withaar, 1997; Korteling & Kaptein, 1996; Van Zomeren, et al., 1988). Ce manque de prédiction des tests s'expliquent par des raisons qui varient selon les auteurs : ce décalage peut être la conséquence de la mise en place de mécanismes compensateurs non observables à travers un bilan neuropsychologique (Brouwer & Withaar, 1997), la validité des tests et les modalités d'estimation des scores seraient remises en cause (Van Zomeren, et al., 1987), chacun des tests utilisés n'expliquerait que dans une très faible proportion la variance des scores de conduite (Korteling & Kaptein, 1996), les tests manqueraient de simplicité et de faisabilité car jugés trop nombreux (Mazer, et al., 1998). Par conséquent, l'évaluation neuropsychologique est nécessaire mais pas suffisante. D'autres auteurs concluent que la prédictivité des tests peut être positive mais seulement dans certaines conditions : si les résultats obtenus aux tests sont très faibles (Brouwer & Withaar, 1997) ou si les personnes se situent en dessous d'un certain âge (McKenna, et al., 2004).

Pour toutes ces raisons, les batteries de tests neuropsychologiques requièrent toujours une certaine prudence quant à leur interprétation en termes de capacités de conduite. De plus, les trois éléments essentiels pour qu'un test soit satisfaisant (fidélité, validité et sensibilité) ne sont bien souvent que partiellement évalués (Rousseaux, et al., 2002). Enfin, même si de nombreuses dimensions cognitives analysées par les tests sont aussi engagées dans les tâches quotidiennes, les tests ne peuvent pas explorer l'ensemble des capacités mises en jeu dans les activités quotidiennes (Tupper & Cicerone, 1990 ; cités par Le Gall & Allain, 2008).

En conclusion, le test neuropsychologique demeure un outil permettant plutôt une présélection des patients pouvant bénéficier d'une évaluation en situation réelle (Fattal, et al., 2000). En pratique, le problème principal est celui posé par un patient souhaitant reconduire et pour lequel l'évaluation neuropsychologique fait émettre des réserves. La question qui se pose est de savoir si la capacité à conduire peut être inférée par les troubles cognitifs, ou si elle nécessite obligatoirement une évaluation spécifique, par un test sur route.

#### b) Évaluation sur route réelle

Une évaluation sur route consiste à placer un individu dans un véhicule et le faire conduire sur un parcours pendant que l'on observe son comportement de conduite. Plusieurs méthodologies peuvent être utilisées pour évaluer le participant en situation réelle de conduite. La plus grande distinction concerne le parcours utilisé, il peut s'effectuer sur route ouverte versus sur route fermée. Les routes fermées sont des espaces protégés (parking, piste...), permettant ainsi de contrôler les facteurs environnementaux de l'activité de conduite. En revanche, les circuits fermés ne permettent pas de considérer le facteur temps, en effet, la pression temporelle induite par les autres véhicules est inexistante, contrairement à

l'évaluation sur route ouverte où le participant doit interagir avec un trafic en temps réel dans des conditions de circulation elles-mêmes proches de la réalité. Le contexte dans lequel est effectué le test de conduite peut également être variable, selon que le trajet à effectuer soit familier ou non du participant. Concernant les personnes âgées, il semblerait plus pertinent de s'orienter vers des parcours inconnus du sujet, pour mettre en évidence les capacités de répartition de leurs ressources attentionnelles et de sélection des informations exploitables (Marin-Lamellet, et al., 2003). Selon les études, la personne qui évalue le conducteur peut être un expert de la commission préfectorale, un moniteur auto-école, un ergothérapeute, un neuropsychologue, etc.

Le codage de la performance de conduite se fait principalement à l'aide d'une grille d'observation. Nous sommes en mesure de nous demander pourquoi ne pas utiliser la méthodologie de codage employée par les inspecteurs du permis de conduire ? Tout simplement parce qu'une grande différence réside entre ces deux types d'évaluation. L'évaluation du permis de conduire consiste à évaluer les performances de conduite d'une personne qui n'est pas encore conducteur, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on s'intéresse à l'évaluation de conduite après lésions cérébrales ou au cours du vieillissement normal. Ainsi, l'expert aurait un codage strict correspondant aux prescriptions légales de conduite, qui pourrait manquer de souplesse dans l'évaluation de conducteurs ayant des troubles attentionnels (patients cérébro-lésés, personnes âgées...). De plus, un conducteur expérimenté acquiert de « mauvaises habitudes » au fil des années, on peut donc supposer que dans des conditions d'évaluation stricte correspondant à l'évaluation de l'obtention du permis de conduire, le taux d'échec serait élevé. Ces « mauvaises habitudes » sont partagées par un grand nombre de conducteurs ayant le permis, il peut s'agir par exemple d'un oubli de clignotant ou d'un manque de contrôle visuel, et pourtant elles peuvent être considérées comme de graves erreurs du point de vue d'un inspecteur de conduite. De ce fait, la méthodologie employée se doit d'être différente. En raison de la difficulté à établir un système de mesure objectif pour le codage de la performance, un grand nombre de grilles d'observation ont été développées. Le Washington University Road Test (WURT) a été créée pour évaluer les performances de conduite des personnes âgées saines ou présentant une démence d'Alzheimer (Hunt, et al., 1997a, 1997b). Il s'agit d'un test standardisé, sur route réelle et d'une longueur de 9.6km. Il permet de quantifier la performance du conducteur âgé à l'aide d'une échelle s'intéressant à plusieurs manœuvres (tourne-à-gauche, stops, vitesse, conscience du trafic, maintien de la position du véhicule...). Le California Modified Driving Performance Evaluation (MDPE) est structuré par rapport à la réglementation du permis de conduire de Californie, de ce fait il ne prend pas en considération les aspects cognitifs. Les mesures sont les suivantes : la recherche visuelle, le contrôle de la vitesse et de la direction ; de plus, il permet de caractériser les erreurs et d'évaluer le conducteur lors d'une manœuvre spécifique (Janke & Hersch, 1997). Ces deux tests (WURT et MDPE) s'adressent spécifiquement aux personnes âgées, avec trouble cognitifs ou non. D'autres tests sont plus généraux, s'adressant à tout type de population ayant des désordres cognitifs, comme le Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP, De Raedt, 2000; Withaar, 2000). Ce test permet de standardiser et de quantifier l'activité de conduite grâce à une liste d'items comportementaux : la position latérale sur la route, la distance de sécurité, la vitesse, l'exploration visuelle, la signalisation, le dépassement, l'anticipation, la communication, les situations particulières, les opérations mécaniques, et les impressions générales. Il est possible de quantifier chaque item grâce à un score qui s'établit sur une échelle de 1 à 4 (1=insuffisant, 2=douteux, 3=suffisant, 4=bon). La cotation de la grille doit s'effectuer immédiatement après l'épreuve de conduite en situation réelle. L'avantage de cette grille réside dans le fait qu'elle réfère directement au modèle hiérarchique de la conduite de Michon (1985), alors que les autres n'ont pas de cadre conceptuel. De plus, la fiabilité de ce test a déjà été démontrée dans

plusieurs études auprès de diverses populations, Akinwuntan et al. (2002) l'ont par exemple utilisé auprès de personnes victime d'un accident vasculaire cérébral.

Au regard des données de la littérature, il est possible de lister les principales caractéristiques des grilles évaluant la compétence de conduite : elles incluent un large nombre d'items, elles consistent en une procédure simple de cotation, elles regroupent les items sous différentes catégories référant à des comportements de conduite et elles laissent de la place aux informations informelles et qualitatives.

Compte tenu de la fragilité de la relation qui lie les tests cognitifs et l'évaluation situationnelle de la conduite, l'évaluation en situation réelle paraît incontournable (Fattal, et al., 2000). C'est elle qui détermine et conditionne la décision finale. Cependant, bien qu'elle représente une partie essentielle de la procédure d'évaluation, l'utilisation d'un test sur route ne résout pas systématiquement tous les problèmes de validité (Brouwer & Withaar, 1997). En effet, le jugement de l'expert ne permet pas de prédire de manière certaine une conduite sécuritaire, car l'évaluation sur route est souvent subjective et consiste à remplir des grilles d'observation. De plus, l'évaluation en conduite réelle est limitée du fait que certaines situations à risque ne peuvent être proposées et évaluées. Une des vraies questions est de savoir ce que l'on mesure par rapport à quelle référence.

L'étude de **reproductibilité** d'une évaluation sur route est difficile à mettre en place car elle exigerait la présence de deux examinateurs dans la voiture qui cotent les erreurs du patient avec une même grille. Kewman et al. (1985) font partie des rares auteurs à avoir réalisé cette double évaluation, auprès d'une population de traumatisés crâniens (N=11). Le test sur route (9.6km) était administré par un expérimentateur situé sur un siège arrière de la voiture et par un moniteur auto-école assis devant. L'expérimentateur utilisait une grille de conduite spécifique en 17 items alors que le moniteur restituait la compétence globale de conduite en termes d'aptitude ou d'inaptitude. Les résultats ont révélé une appréciation statistiquement proche entre les deux examinateurs et une bonne corrélation test-retest entre les scores de l'expérimentateur ( $r=0.89$ ) et entre les scores du moniteur ( $r=0.97$ ). Cependant, il n'est pas prouvé que cette même évaluation réalisée par une autre équipe, obtienne les mêmes résultats. La transposition d'une telle évaluation d'une structure à une autre engendre des problèmes liés à la subjectivité de l'examineur et de son expérience (Fattal, 2006). Par la suite, Akinwuntan et al. (2003) ont eux aussi tenté de déterminer la fiabilité d'un test sur route (TRIP), mais auprès d'une population de patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (N=30). Ces auteurs ont mis en place une triple évaluation en situation de conduite réelle. Deux examinateurs se trouvaient dans la voiture qui était munie d'une caméra vidéo et un troisième examinateur évaluait l'aptitude du patient a posteriori lors du visionnage de la vidéo, toujours avec la grille d'observation TRIP. Les résultats ont montré un score conforme à 80% entre les différents évaluateurs. Les auteurs concluent que le test sur route TRIP a une fiabilité modérément haute et que cette fiabilité s'améliore lorsqu'elle est basée sur le même support (la reproductibilité était meilleure entre les deux examinateurs ayant rempli la grille en voiture).

L'étude de **validité** est quant à elle, encore plus difficile à évaluer car mise à défaut par l'absence de test de référence. Il est en effet très difficile de mettre en relation les aptitudes de conduite constatées en situation d'examen, avec le risque accidentel. Brouwer et Withaar (1997) apportent tout de même quelques éléments de réponse au travers de leur revue de littérature. Ils montrent que lorsque le jugement de l'expert est construit en regard des aspects tactiques de la conduite, il serait alors un meilleur prédicteur d'une conduite sécuritaire, par rapport à un jugement qui porterait sur l'aspect opérationnel de la tâche de conduite. Autrement dit, l'évaluation aurait une meilleure validité si elle porte sur le jugement des situations de trafic et l'évitement anticipatoire du risque, plutôt que sur des habiletés de

conduite élémentaires comme la position latérale de contrôle, la vitesse de freinage ou encore le jugement de la distance de sécurité. Après avoir vérifié la fiabilité de la grille TRIP, Akinwuntan et al. (2005a) ont voulu vérifier sa validité auprès de personnes ayant subi un accident vasculaire cérébral (N=38). Les patients réalisaient d'abord un bilan neuropsychologique global constitué du Stroke Driver Screening Assessment (SDSA), d'un test des matrices et d'un test de reconnaissance de panneaux routier. Ensuite, ils effectuaient un test sur route réelle lors duquel trois évaluateurs (dont un expert du CARA) cotaient leurs performances de conduite à l'aide de la grille TRIP. Les résultats ont montré que 78.9% des patients étaient correctement classifiés (comme aptes ou inaptes) lorsque le jugement de l'évaluateur du CARA était comparé à la mesure outcome du SDSA. Les auteurs concluent que le test de conduite sur route TRIP a un bon critère de validité pour mesurer l'habileté de conduite de patients avec accident vasculaire cérébral.

Concernant les personnes âgées, De Raedt & Ponjaert-Kristofferson (2000) ont réalisé une étude avec pour objectif de déterminer si l'utilisation d'une stratégie compensatoire (stratégique et/ou tactique) lors d'un test sur route pouvait améliorer significativement la sécurité des conducteurs âgés (65 à 96 ans, N=84). Les participants âgés étaient évalués sur route par un moniteur à l'aide d'une grille de conduite (TRIP) et leur nombre d'accidents ou de fautes de conduite était enregistré durant les 12 mois qui précédaient l'évaluation. Les auteurs ont fait l'hypothèse que les personnes ayant un mauvais score au TRIP mais aucun accident recensé, utilisaient une stratégie compensatoire active lors de leur conduite quotidienne ; alors que des personnes ayant un mauvais score au TRIP et des accidents liés à cette mauvaise performance, ne devaient pas utiliser de stratégie compensatoire. Les auteurs concluent que les personnes âgées qui compensaient leurs déficits en adaptant leur style de conduite, causaient moins d'accidents que les autres. De ce fait, le bénéfice d'un test sur route peut être représenté par la mise en observation des stratégies de compensation.

Dans le cadre d'une étude des aptitudes à la conduite grâce à un test sur route, il importe de savoir si, malgré des troubles cognitifs constatés chez le patient, celui-ci est capable de mettre en œuvre des capacités d'apprentissage et d'entraînement. On a vu précédemment que les résultats à l'évaluation neuropsychologique pouvaient être en décalage avec la performance réelle de conduite sur route, du fait de la mise en jeu de stratégies de compensation. À l'inverse, l'évaluation sur route permettrait d'observer ces stratégies qui ont trait à l'adaptation comportementale et à l'adaptation attentionnelle des patients (Van Zomeren, et al., 1987; Van Zomeren, et al., 1988). Le premier type d'adaptation réfère à l'état d'esprit avec lequel le sujet envisage son déplacement en voiture (correspond à l'étape stratégique du modèle de Michon, cf. chapitre modélisation de la conduite, p.37), il s'agit d'un ajustement compensateur. Le deuxième type d'adaptation réfère à la compensation des faiblesses attentionnelles, notamment par le recours à l'attention contrôlée (Van Zomeren, 1995).

### c) Évaluation avec simulateur de conduite

Le simulateur de conduite, tout comme l'évaluation sur route, permet de mettre en situation toute personne dont le déficit moteur ou neuropsychologique fait douter des capacités à reprendre la conduite automobile. L'avantage principal de l'évaluation sur simulateur de conduite réside dans le fait que le patient est en situation de conduite sans les dangers inhérents à la circulation réelle. Rombaut et al. (Rombaut, Petit, & Thévenon, 2000) listent les avantages et inconvénients de l'utilisation d'un tel outil : il permet d'obtenir des données quantitatives, il permet de reproduire strictement une épreuve de conduite, il peut constituer une aide à l'auto-évaluation des patients et surtout il permet de tester le patient en



toute sécurité lors de situations critiques ; en revanche, il peut générer le « mal du simulateur », notamment chez les personnes âgées qui ont du mal à s'adapter au décalage entre stimulation visuelle et absence de proprioception.

Une des premières études à avoir considéré le simulateur de conduite comme outil permettant d'évaluer les aptitudes de conduite, a été réalisée par Galsky et al. (Galski, Ehle, & Williams, 1997). Ces chercheurs ont évalué les aptitudes de conduite avec un simulateur de conduite auprès de patients traumatisés crâniens (N=106). Selon eux, l'évaluation sur route est un des meilleurs moyens pour rendre compte des difficultés des patients mais elle présente un gros désavantage, elle ne permet pas de réaliser l'évaluation en toute sécurité. De plus, elle manque d'objectivité car souvent réalisée à l'aide de grille de cotation. Ces auteurs ont alors investigué l'utilisation du simulateur de conduite comme méthode off-road, plus sécuritaire. Les patients ont été évalués par un bilan neuropsychologique d'une durée de 1h50 avant de commencer l'expérience. Celle-ci consistait à visionner trois vidéos sur simulateur de conduite au cours desquelles le patient devait réaliser différentes tâches. Il ne s'agissait pas d'une vraie tâche de conduite simulée dans la mesure où les actions du patient sur les commandes du simulateur n'avaient pas d'impact sur le déroulement de la vidéo. Le patient devait se contenter de tourner le volant aux moments des intersections par exemple. La première vidéo avait pour but d'évaluer les bonnes stratégies de conduite des patients qui devaient répondre à des situations de trafic, en freinant, accélérant ou en utilisant les clignotants de manière appropriée. Les deux autres vidéos mettaient en jeu des situations dangereuses. Le but de la deuxième vidéo était d'observer la reconnaissance du danger de la part des patients alors que la troisième permettait d'observer la façon dont ils évitent l'accident. Les mesures enregistrées étaient objectives : erreurs de freinage, contrôle de la vitesse, erreurs d'accélération et déviation du volant. De plus, un ergothérapeute observait le comportement du patient sur simulateur et remplissait une grille pour qualifier la distractibilité, l'inattention, la lenteur mentale et la difficulté à suivre des directions. L'objectif de l'étude n'était pas de prédire les aptitudes de conduite, de ce fait, aucune évaluation sur route n'a été effectuée à l'issue de l'évaluation sur simulateur. Cette étude a permis de construire un modèle à cinq facteurs qui explique 66.14% de la variance totale des patients lors de l'évaluation off-road (tests neuropsychologiques et test sur simulateur). Les facteurs utiles pour une meilleure compréhension de la performance de conduite sur route seraient alors les suivants : les habiletés visuo-spatiales de haut niveau, la reconnaissance et réponse visuelle basique, le freinage anticipatoire, la capacité à gérer la direction du volant et les manifestations comportementales de l'attention complexe.

Huchler et al. (2002) se sont intéressés à l'évaluation des performances de conduite via un simulateur de conduite et à la sensibilité de cet outil auprès de personnes avec TC ou accident vasculaire cérébral (N=36). L'expérimentation comprenait quatre parties, les patients avaient dans un premier temps des leçons de conduite sur simulateur, puis un test de conduite sur simulateur (effectué par un neuropsychologue), une leçon de conduite sur route réelle et enfin un test de conduite sur route réelle (effectué par un neuropsychologue et un moniteur auto-école). Lors des deux tests de conduite (sur simulateur et sur route), le neuropsychologue utilisait la même grille de cotation. Le moniteur quant à lui devait noter la performance de conduite des patients sur une échelle pouvant aller de 1 (excellent) à 6 (échec). Enfin le patient lui-même devait évaluer sa performance de conduite sur le même type d'échelle. Les auteurs montrent que les patients ont tendance à surestimer leur performance pour les deux tests comparativement aux résultats du neuropsychologue et du moniteur. En revanche, l'estimation du neuropsychologue pour l'évaluation sur route réelle était en accord avec celle du moniteur. Des analyses supplémentaires (corrélations) montrent que le test réalisé sur simulateur de conduite était prédictif à 84.8% des résultats obtenus au test sur route réelle.

L'estimation du neuropsychologue au test sur simulateur représenterait donc une variable prédictive de la performance sur route des patients. Cette étude laisse à penser que le simulateur de conduite est un bon instrument diagnostique et peut aussi être considéré comme un outil enrichissant dans le domaine de la rééducation.

Concernant les personnes âgées, Lee et al. (Lee, Cameron, & Lee, 2003) ont étudié le rôle du simulateur de conduite comme mesure prédictive de la performance de conduite chez 128 conducteurs âgés. Il ne s'agissait pas ici d'un simulateur au sens premier du terme étant donné que l'outil utilisé était un ordinateur posé sur une table auquel ont été rajoutés un volant et des pédales. Dix critères d'évaluation de la conduite simulée ont été développés permettant d'évaluer entre autres : la conformité du comportement face aux panneaux routiers, la vitesse de conduite, la prise de décision, l'attention... Les analyses consistaient à comparer directement les performances obtenues au test sur simulateur de conduite avec celles obtenues au test sur route. L'expérimentateur réalisait les deux types d'évaluation et utilisait la procédure standard du permis de conduire pour le test sur route (réalisé dans le propre véhicule du participant). Les résultats montrent une corrélation positive significative entre ces deux performances, l'index du simulateur permettrait d'expliquer les deux tiers de la variabilité de la performance au test sur route. Les auteurs supportent alors la validité du simulateur de conduite pour évaluer la performance de conduite des personnes âgées.

Rizzo et al. (Rizzo, McGehee, Dawson, & Anderson, 2001b) se sont aussi intéressés au comportement de conduite des personnes âgées, avec (maladie d'Alzheimer) ou sans démence (N=30). L'objectif de leur recherche n'était pas d'évaluer l'aptitude à la conduite des personnes âgées, mais d'utiliser le simulateur de conduite comme outil permettant de tester si les conducteurs âgés atteints de la maladie d'Alzheimer ont plus d'accidents de la route lors d'intersections. Ainsi, aucune évaluation sur route réelle n'a été effectuée dans cette étude. Le scénario de conduite incluait de multiples intersections avec beaucoup de trafic. Pour éviter l'accident lors d'intersections, les participants devaient prendre en considération le comportement des autres conducteurs, qui étaient souvent dangereux. Les résultats montrent que 33% des conducteurs avec démence d'Alzheimer ont eu au moins un accident lors d'intersection faisant intervenir un comportement illégal de la part d'un autre conducteur (par exemple : non respect de la priorité). En revanche, les conducteurs âgés sans démence n'ont pas été impliqués dans ce type d'accident. Enfin, aucune personne âgée (quel que soit le groupe) n'a eu d'accident lors des segments ordinaires qui précédaient les intersections. Les auteurs concluent que les erreurs de conduite des patients avec maladie d'Alzheimer, s'observent surtout lorsque le comportement des autres conducteurs est imprédictible. Selon eux, le simulateur de conduite serait alors un bon outil pour prédire le type d'erreur que ces patients sont susceptibles de commettre. A l'inverse, la mise en situation sur route réelle ne permettrait pas de mettre en évidence de telles erreurs de conduite et de prédire le taux d'accident étant donné que le nombre de situations dangereuses et imprévisibles ne peut être contrôlé en contexte réel.

Lew et al. (2005) ont fait une étude qui se démarque des autres dans la mesure où elle consistait à évaluer la validité prédictive d'un test sur simulateur de conduite sur les performances de conduite à long terme. L'étude consistait à tester si l'évaluation sur simulateur peut prédire les futures performances de conduite des patients traumatisés crâniens (N=11). Ils ont ainsi élargi la question de la validité écologique du simulateur aux données accidentologiques. L'expérimentation incluait une évaluation sur simulateur de conduite suivie par une évaluation sur route. Trois scénarios de conduite de difficultés croissantes étaient programmés (d'une durée de dix minutes chacun) et une situation d'attention divisée intervenait dans les trois scénarios. La tâche du patient consistait à conduire le plus naturellement possible et à réagir aux situations complexes de la même manière que sur route

réelle. Douze mesures quantitatives étaient collectées et regroupées en deux catégories : le contrôle de la vitesse (moyenne, variabilité...) et le contrôle de la direction (position de voie, position dans les virages, franchissement de ligne médiane, collision...). Ces mesures permettaient d'obtenir un index composite de la performance de conduite sur simulateur. En parallèle, un expérimentateur remplissait une grille de conduite de façon à avoir une deuxième mesure (plus subjective) de la performance de conduite. Cet instrument comprenait 14 items regroupés en quatre catégories : régulation de la trajectoire, maniement des commandes (volant), manœuvres basiques et les habiletés de haut niveau (jugement du risque, prise de décision...). L'évaluation sur route durait une heure et était réalisée par un moniteur qui jugeait de l'aptitude ou inaptitude à la conduite des patients. La dernière étape consistait en une évaluation follow-up réalisée auprès d'un membre de la famille du patient. Les membres de la famille étaient prévenus au préalable qu'ils devaient observer la performance de conduite du patient pendant au moins trois heures en situation de vie quotidienne (dans leur propre véhicule). Huit à dix mois après l'évaluation sur simulateur de conduite et sur route, le membre de la famille était contacté par téléphone pour répondre à une interview qui consistait à remplir la grille de 14 items utilisée précédemment. Les résultats ont montré que l'index composite obtenu sur simulateur de conduite (mesure objective) était plus sensible et précis que le score obtenu à la grille de conduite (mesure subjective) pour prédire la performance de conduite sur route. De plus, l'index composite a permis de prédire significativement certains aspects de la performance de conduite à 8-10 mois. En revanche, l'évaluation de conduite sur route n'a montré aucune corrélation significative avec la performance de conduite à 8-10 mois. Les auteurs concluent que l'évaluation sur simulateur de conduite peut dans certains cas, fournir une mesure écologique plus sensible qu'un test sur route traditionnel, lors d'une prédiction à long terme des performances de conduite.

Il existe, dans certains centres de réadaptation, un dispositif (nommé Test Rig) qui ne partage pas les mêmes propriétés qu'un simulateur de conduite. Il s'agit d'une cabine de conduite qui permet de prendre des mesures principalement physiques, à partir d'une interface simplifiée (petit écran) et qui ne permet pas au participant d'avoir un contrôle du véhicule. Carroz et al. (2008) ont mené une étude dont l'objectif était d'évaluer l'intérêt de ce type d'outil pour la reprise de la conduite automobile de patients présentant un handicap physique et/ou cognitif (N=123). Pour ce faire, ils ont comparé la valeur prédictive de l'évaluation sur le dispositif Test Rig avec celle d'une évaluation neuropsychologique, sur les aptitudes de conduite évaluées en situation réelle. Les patients effectuaient un bilan neuropsychologique très complet (aptitudes visuo-perceptives, capacités mnésiques, fonctions exécutives, vitesse de traitement de l'information et tests attentionnels) à l'issue duquel le neuropsychologue émettait un avis quant à la reprise de la conduite du patient. Le patient réalisait ensuite une évaluation sur le Test Rig d'une durée de 45 à 60 minutes. Cette évaluation était composée de six épreuves motrices et cognitives : capacité à moduler l'accélérateur, force développée pour tourner le volant, force développée pour freiner, temps de réaction, capacité à détecter des stimuli visuels complexes et à réagir en conséquence, ainsi qu'une mesure du champ visuel et des angles de vision. L'ergothérapeute émettait ensuite un avis de la même manière que le neuropsychologue. Enfin, chaque patient était évalué par un expert sur route. Les auteurs ont donc recueilli trois avis et ont réalisé des tests de concordance. Ils ont montré qu'il existe une concordance significative entre la décision du neuropsychologue et de l'expert mais qu'elle est bien plus importante entre la décision de l'ergothérapeute et de l'expert. L'évaluation sur le Test Rig représentait donc une sensibilité (84%) et une spécificité (100%) bien plus importante que l'évaluation neuropsychologique.

Pour conclure sur l'évaluation des aptitudes de conduite automobile, il est difficile de départager les méthodes quant à leur efficacité pour prédire la possibilité d'une reprise de la

conduite chez un patient. En effet, chaque méthode analysée (évaluation neuropsychologique, sur route et sur simulateur de conduite) s'avère utile et présente ses propres avantages et inconvénients. Ainsi, on peut supposer qu'à elles trois, elles représentent le trio optimal d'une bonne valeur prédictive des performances de conduite. Plutôt que de considérer ces évaluations comme étant en compétition les unes avec les autres, elles peuvent être envisagées comme un ensemble de mesures apportant chacune des informations complémentaires. Les tests neuropsychologiques permettraient de mettre en évidence les processus cognitifs déficitaires chez un patient et de les mettre en relation avec les processus impliqués lors de la l'activité de conduite. L'évaluation neuropsychologique aboutit à une mesure standardisée mais manque de validité écologique. L'évaluation sur route est fréquemment considérée comme la meilleure mesure de la compétence de conduite de par son aspect écologique, mais manque de standardisation et de reproductibilité (inconstances dans l'administration et l'enregistrement des réponses). Enfin, l'évaluation sur simulateur de conduite permettrait de pallier les désavantages des deux autres méthodes évaluatives, puisqu'elle combine un certain contrôle expérimental (standardisation des mesures) et revêt un aspect plus écologique que les tests neuropsychologiques. En revanche, cet outil peut engendrer le « mal du simulateur » et sa fidélité par rapport à la conduite réelle n'est pas entièrement prouvée. Enfin, ces mesures prédictives de la performance de conduite ne doivent pas être utilisées de manière isolée. Le nombre de kilomètres parcourus, les habitudes de conduite et le statut de conduite (conducteur novice, expert...), sont autant de facteurs à prendre en considération lors de la prédiction de l'aptitude de conduite d'un patient traumatisé crânien (Coleman, et al., 2002).

De manière générale, toutes ces mesures mènent à une même conclusion : les patients traumatisés crâniens ont des troubles cognitifs qui se répercutent sur les trois niveaux hiérarchiques de la conduite mais dont l'impact est plus prononcé au niveau opérationnel (modèle de Michon, 1985). Ceci s'explique d'une part, parce que l'une des conséquences principales d'un trouble cognitif est le ralentissement de la vitesse de traitement, nécessitant ainsi plus de temps pour identifier ou répondre à un objet ou une situation. Or, le niveau opérationnel est celui où la pression temporelle est la plus forte, où le sujet doit réagir instantanément, le trouble cognitif va donc avoir un impact plus prononcé pour ce niveau hiérarchique (Brouwer, 2002a). D'autre part, la mise en jeu des processus de compensation permet surtout d'améliorer les autres niveaux du modèle (stratégique et tactique). Ainsi, il paraît important que l'évaluation des performances de conduite ne serve pas seulement à prendre la décision de l'aptitude ou de l'inaptitude à la conduite, mais serve également de guide pour des ajustements ergonomiques ou pour mettre en place une rééducation des aptitudes de conduite (Brouwer & Withaar, 1997).

#### **2.4 Structures d'évaluation des performances de conduite des patients traumatisés crâniens**

En vue d'une reprise plus sécuritaire de la conduite automobile et devant la difficulté d'évaluation de la performance de conduite, certaines structures ont été créées pour permettre d'évaluer des patients désireux de reprendre la conduite automobile (après accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, hémiplégie...). Ces centres dont il est question n'existent pas en France. Les principaux se situent en Angleterre (Driven and Vehicle Licensing Agency – DVLA), en Belgique, aux Pays-Bas (Office Centrale des certificats d'aptitude à la conduite – CBR) et au Québec (Société d'Assurance Automobile du Québec – SAAQ).

Pour illustrer les objectifs de ces centres, nous prendrons comme exemple le Centre d'évaluation de l'Aptitude à la conduite et d'Adaptation des véhicules (CARA) qui est localisé en Belgique et fait partie de l'Institut Belge pour la Sécurité Routière (I.B.S.R.). Il a

pour mission d'évaluer l'aptitude à la conduite de candidats demandeurs ou titulaires d'un permis de conduire, présentant un trouble fonctionnel pouvant provoquer une limitation du contrôle moteur, des perceptions, du comportement ou des capacités de jugement, susceptibles d'influencer l'aptitude à la conduite d'un véhicule à moteur (Strypstein et al., 2000). Conformément à l'Arrêté Royal du 23 mars 1998 relatif au permis de conduire et à l'Arrêté Ministériel du 27 mars 1998, le CARA est le seul organisme habilité (en Belgique) à évaluer l'aptitude à la conduite, à déterminer les adaptations, conditions et/ou restrictions pour le candidat au permis de conduire. La différence entre la législation française et la législation belge réside donc dans le fait qu'en Belgique, le candidat est pris en charge par une équipe pluridisciplinaire composée de médecins examinateurs, d'experts en aptitude et en adaptation et enfin de neuropsychologues. Strypstein et al. (Strypstein, Van Weerst, & Baten, 2000) ont recensé le nombre d'examens de conduite effectués au CARA durant l'année 1998 : 2017 examens ont été effectués dont 48% à la suite d'une atteinte du système nerveux central. Les auteurs montrent qu'à la fin de l'examen, 70% d'entre eux étaient déclarés aptes, 4% inaptes et 26% obtenaient un avis mitigé. Pour ces derniers, il leur était proposé de suivre des cours de conduite durant une période à durée déterminée par l'équipe.

Le parcours de soin en France ne comprend pas de tels centres, les méthodes employées varient donc d'un hôpital à un autre. Certains centres de rééducation français disposent d'un simulateur de conduite (centre de rééducation de Mulhouse, Berck sur Mer, ou de la fondation Hopale) et peuvent ainsi l'utiliser pour observer le comportement des patients au volant. Il peut s'agir de mettre en situation une personne ayant un handicap physique, pour anticiper sur les éventuelles adaptations que devra comporter son véhicule ; ou une personne avec un handicap cognitif, pour vérifier que la performance en tâche de conduite n'est pas altérée par d'éventuels troubles cognitifs (attentionnels, exécutifs...).

Les outils neuropsychologiques utilisés dans cette optique sont très variables d'un centre à l'autre. Afin d'uniformiser les pratiques, certains groupes de réflexion ont vu le jour. Par exemple, dans la région parisienne, le Groupe d'Etude et de Recherche pour la Conduite Automobile (GERCAH IDF) a tenté de mettre en place une démarche d'évaluation pluridisciplinaire spécifique à la conduite automobile qui soit la même pour tous les centres d'île-de-France. La première étape est la consultation avec le médecin, ensuite, s'il n'y a pas de contre-indication médicale, alors le patient bénéficie d'une évaluation en ergothérapie et en neuropsychologie. L'ergothérapeute utilise une grille d'évaluation motrice (force musculaire et de préhension, tonus, proprioception, amplitudes articulaires), étudie les habitudes de conduite et s'informe sur les aménagements envisageables. Le neuropsychologue effectue un bilan, dans lequel ont été regroupés les tests neuropsychologiques mettant en jeu des processus cognitifs principalement impliqués dans l'activité de conduite d'après le GERCAH. Ainsi, le bilan neuropsychologique vise à évaluer : le ralentissement (temps de réaction), les capacités attentionnelles (attention soutenue, sélective, divisée, vigilance), la mémoire de travail, l'exploration visuelle (troubles visuo-spatiaux), les fonctions exécutives (planification, résolution de problème, organisation...), et les troubles du comportement (impulsivité, agressivité, impatience...). Enfin, la démarche d'évaluation se termine par une mise en situation sur route réelle réalisée par un moniteur d'auto-école sensibilisé, accompagné de l'ergothérapeute et/ou du neuropsychologue. La conduite sur route a lieu sur un parcours standardisé et dure en général 90 à 120 minutes. L'évaluateur cote la performance de conduite du patient à l'aide d'une grille permettant d'observer les comportements suivants : l'anticipation, la prise d'initiative, l'adaptation de la vitesse, le respect du code, l'utilisation des clignotants, l'exploration de l'environnement, le maintien des trajectoires, le placement de voie et l'appréciation des distances de sécurité.

Concernant la mise en situation de conduite réelle, certains centres travaillent en collaboration avec des auto-écoles. Par exemple, le centre médical de l'Argentière et l'hôpital Henry Gabrielle disposent d'un véhicule d'auto-école leur permettant d'évaluer l'aptitude à la conduite des patients, déterminée par un moniteur qui travaille spécifiquement avec des patients encore hospitalisés. À l'hôpital Henry Gabrielle, le moniteur fait aussi passer des évaluations de conduite pour des patients adressés par la commission préfectorale du permis de conduite, il revêt donc le statut d'expert dans cette situation précise. En général, le moniteur ne quantifie pas la performance du patient et se contente d'émettre un avis favorable, défavorable ou intermédiaire. De ce fait, dans certains centres, l'ergothérapeute ou le neuropsychologue, accompagne systématiquement le patient lors de son évaluation de conduite avec le moniteur afin de remplir une grille d'observation du comportement routier.

Pour conclure, les pratiques diffèrent largement d'une région à une autre, ou même d'un centre à un autre, entraînant des inégalités quant à la prise en charge des patients. En effet, ils ne bénéficient pas tous de la même aide, ni de la même évaluation contrairement aux centres dédiés à l'évaluation de la conduite dans les autres pays.

« Si je soulève des haltères, je me muscle les biceps,  
 mais si je pense que je les soulève,  
 je me muscle le cerveau. » [Philippe Geluck]

### III. RÉÉDUCATION COGNITIVE

#### 1. Historique de la rééducation

La rééducation s'adresse aux personnes ayant un handicap, mais de quel type de handicap est-il question ? L'organisation Mondiale de la Santé (OMS) a proposé une Classification Internationale des Handicaps (CIH) permettant de distinguer les termes déficit, incapacité et handicap (Seron & Van der Linden, 2000). Le déficit ou déficience correspondrait à la perte de la structure ou de la fonction, il renvoie dans notre cas au dysfonctionnement du mécanisme cognitif ; l'incapacité à la réduction de la capacité à accomplir une activité ou une tâche spécifique ; et le handicap réfère à la limitation sociale que cela engendre, aux répercussions dans la vie privée. Ainsi, il y aurait trois niveaux : la déficience se situe au niveau de l'organe, l'incapacité au niveau personnel et le handicap au niveau sociétal. Cette classification, introduite en 1980 a été remplacée par la Classification Internationale du Fonctionnement du handicap et de la santé (CIF) de l'OMS en 2001 (André, Paysant, & Beis, 2006). La CIF rajoute les facteurs environnementaux et personnels à la classification initiale, comme pouvant influencer le handicap. Ils regroupent les facteurs individuels (environnement, domicile, travail...) et les facteurs sociétaux (structures sociales, système, service...). La CIF permet d'expliquer qu'il n'y a pas forcément de lien entre les trois types de handicaps, une personne peut par exemple avoir des déficits sans pour autant avoir de handicap, par la mobilisation de processus adaptatifs ou d'action sur l'environnement.

Pour illustrer cette construction tripartite, on peut appliquer ces terminologies au champ de la neuropsychologie et plus précisément aux troubles de l'attention. Le déficit pourrait alors être un déficit spécifique de l'attention divisée, les incapacités pourraient se manifester lors de l'exécution de double tâche et le handicap renverrait aux conséquences sur la vie personnelle comme par exemple sur la capacité à faire deux choses simultanément (comme lors de l'activité de conduite automobile par exemple).

La rééducation cognitive est un domaine vaste et en pleine expansion, mais vise-t-elle à améliorer le déficit, l'incapacité ou le handicap ?

Si la littérature regorge d'études traitant de la rééducation cognitive, il faut bien reconnaître que l'on y trouve également une très grande variabilité dans la terminologie utilisée. Ainsi, on peut voir apparaître les notions de réadaptation, remédiation, revalidation, réhabilitation, training, entraînement, thérapie ou même encore traitement. Devant l'ampleur des terminologies utilisées, il nous semble utile de les expliciter afin de les employer à bon escient.

De manière intuitive, la première dichotomie établie, concerne les termes d'entraînement cognitif et de rééducation cognitive. Selon nous, ils renvoient tous deux à une même pratique, mais auprès de population différente. L'entraînement s'adresse à toute personne sans lésion cérébrale (par exemple les personnes âgées), désireuse d'améliorer leur fonctionnement cognitif ; alors que la rééducation cognitive vise l'amélioration des performances suite à une lésion cérébrale chez des patients avec pathologie (accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, pathologie neurodégénérative...). Le terme plus générique de training cognitif se définit comme l'entraînement par des exercices répétés,

organisé en un système d'éducation et/ou d'instruction. Il réfère donc à la pratique en elle-même quelle que soit la population étudiée (patient ou participants sains) et concerne donc simultanément la rééducation cognitive et l'entraînement (comme c'est le cas dans la présente étude).

La thérapie ou le traitement sont des termes plutôt utilisés dans le domaine médical et concernent les suivis cognitifs avec ou sans médicament (Seron, 2000; Whyte, 2006). Ces termes s'utilisent lorsque l'on s'intéresse à l'efficacité d'une rééducation. On parlera alors d'évaluation pré-traitement et post-traitement pour se référer aux mesures prises avant et après la rééducation.

La réhabilitation et la réadaptation impliquent le lien social, dans la mesure où ces termes sont fréquemment utilisés dans des structures dont l'objectif est la réinsertion sociale (UÉROS : Unité d'Évaluation, de réentraînement et de Réinsertion sociale et/ou professionnelle ; l'ADAPT : l'Association pour l'insertion sociale et professionnelle des personnes handicapées). On parle alors de centre de réadaptation ou d'unité de réhabilitation lorsque la rééducation s'insère dans un collectif social. Ainsi, il s'agirait de l'étape « d'après », l'étape qui suivrait la phase d'intervention neuropsychologique (Lion, et al., 1997; Quintard, et al., 2002). Prenant en considération la distinction émise par l'OMS, l'objectif de la réhabilitation/réadaptation serait alors d'améliorer le handicap plutôt que le déficit ou l'incapacité. Cependant, dans les articles anglophones, le terme *rehabilitation* semble employé comme un terme générique qui n'a pas forcément trait au lien social. Par conséquent, il faut bien distinguer la littérature anglophone qui renvoie à la rééducation de manière générale, de la littérature française (Cicerone, Azulay, & Trott, 2009; Cicerone, et al., 2000; Foster & Tilse, 2003; Prigatano, et al., 1984; Rohling, Faust, Beverly, & Demakis, 2009).

Le terme de remédiation cognitive est à resituer dans une approche plus générale qui implique l'idée de médiation. Ainsi, la remédiation cognitive réfère à la stimulation des fonctions cognitives par le biais d'un support (informatisé ou autre). Ce terme a beaucoup été usité dans des articles traitant du domaine psychiatrique. Plusieurs études l'utilisent par exemple pour parler de rééducation chez des schizophrènes (Choi & Medalia, 2005; Cochet, et al., 2006; Sablier, Stip, & Franck, 2009), mais toujours avec une orientation neuropsychologique.

La distinction restante est plus floue que les précédentes et concerne les termes de revalidation et de rééducation cognitive. Leur signification est assez comparable, il semblerait alors que le choix du terme soit fonction des auteurs. Dans les années 2000, un certain nombre d'auteurs étaient en faveur du terme « revalidation » (Robertson, 2002; Seron & Van der Linden, 2000; Sturm & Leclercq, 2000). Devant l'ampleur des terminologies à disposition dans la langue française, Seron & Van der Linden (2000) choisissent le terme *revalidation* car il présente selon eux des connotations pédagogiques et correctives. De plus, l'objectif de la revalidation serait d'améliorer le fonctionnement cognitif d'un patient devenu déficitaire suite à une atteinte cérébrale, afin d'améliorer ses conditions générales de vie. Comme la réhabilitation, la revalidation englobe les conséquences du déficit dans la vie quotidienne d'une personne mais aussi l'intervention neuropsychologique.

Les déficits, les incapacités et le handicap sont finalement trois thématiques prises en considération dans le domaine de la rééducation et réfèrent à des termes plus ou moins différents. Au vu de cette grande disparité et afin de clarifier la lecture du manuscrit nous avons décidé d'employer seulement deux termes, nous parlerons ainsi de rééducation cognitive au sens large du terme (versus entraînement cognitif pour les personnes âgées) et de *training* cognitif quand il s'agira de la méthodologie expérimentale employée.



Après avoir argumenté sur le choix des termes, nous sommes en mesure de se demander quelles sont les raisons d'un tel engouement pour le champ de la rééducation cognitive et quels mécanismes met-il en jeu ?

La rééducation cognitive date du début du siècle dernier avec une importante expansion lors de la seconde guerre mondiale, en raison de l'effectif important de soldats victimes d'un traumatisme crânien au retour de cette guerre. Les programmes de rééducation étaient tout d'abord construits pour pallier les difficultés cognitives des patients avant d'être utilisés comme un entraînement pour des sujets sains. La naissance et le développement de la rééducation neuropsychologique ont commencé dans le domaine du langage (Ducarne de Ribaucourt, 1997). Les premiers à s'être intéressés à la neuropsychologie en tant que discipline sont les neurologues, portant leur intérêt sur la rééducation du langage chez les aphasiques. Ils ont mis en avant la notion de plasticité cérébrale et expliqué que le cerveau, à force d'expérience, peut aboutir à des modifications structurales et fonctionnelles. La rééducation est alors apparue comme une solution à la restauration des troubles cognitifs résiduels. Durant les deux premiers tiers du 20<sup>ème</sup> siècle, le langage fut la seule fonction cognitive concernée par la rééducation. Puis, progressivement, l'intérêt s'est porté sur les troubles mnésiques, exécutifs ou attentionnels. En trente ans, des progrès considérables ont été réalisés en rééducation, ces avancées seraient étroitement liées étroitement aux progrès des modèles théoriques avec l'approche cognitive, écologique ou comportementaliste (Seron, Rossetti, Vallat-Azouvi, Pradat-Diehl, & Azouvi, 2008).

Bien que le terme de « training » ne fût pas employé dans les études pionnières en la matière, la problématique du training cognitif existe depuis bien longtemps. Les programmes de rééducations s'adressaient initialement aux patients, puis ils se sont diversifiés pour s'étendre à d'autres populations désireuses d'améliorer leur efficacité cognitive : les enfants, les jeunes adultes, les personnes âgées. Les méthodologies se sont alors développées pour pouvoir s'adapter à chacune des populations étudiées. Ainsi, un certain nombre d'approches rééducatives ont vu le jour, répondant toutes à des objectifs bien différents.

## 2. Les différents modes de rééducation cognitive

### 2.1 Les objectifs de la rééducation cognitive

L'objectif principal d'une rééducation cognitive est d'améliorer le fonctionnement cognitif d'un patient lorsque la lésion cérébrale engendre des déficits (Seron & Van der Linden, 2000). De manière générale, les équipes soignantes ont un objectif qui concerne plus la réhabilitation du patient, c'est-à-dire l'amélioration des conditions générales d'existence du patient. En clinique, l'objectif final de la rééducation n'est donc pas d'améliorer le déficit cognitif en tant que tel mais bien le handicap qui en résulte en vie quotidienne.

Une rééducation peut avoir plusieurs objectifs, distingués couramment au nombre de trois dans la littérature (Eustache & Faure, 2005) : la restauration de la fonction, la réorganisation de la fonction et l'aménagement de l'environnement.

**La restauration de la fonction** est également intitulée rétablissement de la fonction grâce à une rééducation directe du processus déficitaire. Le principe de cette rééducation est de restaurer la fonction déficitaire telle qu'elle était auparavant. En d'autres termes, un patient avec un déficit cognitif, doit à la fin de la rééducation, utiliser le même processus qu'une personne sans lésion cérébrale pour effectuer une tâche. La restauration fonctionnelle

permettrait aussi d'entraîner des processus sous-jacents, qui, à leur tour, pourraient améliorer d'autres fonctions cognitives d'un plus haut niveau.

**La réorganisation de la fonction** se fait grâce à un entraînement d'habiletés spécifiques. La rééducation a donc pour objectif de permettre au patient d'accéder aux mêmes fonctions mais grâce à une organisation différente des processus. Le patient réaliserait la même tâche qu'un sujet sain mais en utilisant des processus distincts, il développerait une habileté spécifique reliée à des aires cérébrales préservées. La personne est entraînée à effectuer une tâche bien particulière, ainsi, contrairement à la rééducation de première catégorie, il n'y a pas d'attente en ce qui concerne la généralisation aux habiletés non entraînées. La restauration et la réorganisation de la fonction sont donc basées sur le principe de plasticité cérébrale, contrairement à la dernière approche.

Enfin, lorsque les deux premières approches rééducatives ne sont pas envisageables, ou n'ont pas fonctionné, l'objectif s'oriente vers **l'aménagement ou la modification de l'environnement**, grâce à la mise en place de stratégies palliatives ou supports. C'est la rééducation de dernier recours, utilisée lorsqu'on estime que le fonctionnement déficitaire ne peut être ni rétabli ni réorganisé. Il s'agit de mettre en place des moyens palliatifs ou d'aménager les conditions d'exercice de la fonction. Le principe de cette rééducation est de compenser le trouble avec des aides externes (prothèses mentales) ou en structurant l'environnement du patient. Elle est beaucoup utilisée pour rééduquer les troubles mnésiques, et concerne alors la mise en place d'aide-mémoires (carnets, agenda). Pour être efficace, une prothèse mentale doit être spontanément utilisée par le patient qui doit interagir avec elle. Plus généralement, un système compensatoire quel qu'il soit ne s'avérera réellement efficace que s'il est « taillé sur mesure » à partir des déficits spécifiques de chaque patient et sa maîtrise par les patients exigera le plus souvent la mise en place d'un programme d'apprentissage (Van der Linden, 1995).

En faisant le choix d'un training cognitif, on s'oriente soit vers la restauration soit vers la réorganisation de la fonction. En effet, l'aménagement de l'environnement ne représente pas un entraînement cognitif au sens strict du terme, il s'agit plutôt d'un allègement des difficultés rencontrées suite aux déficits. La différence essentielle entre l'approche orientée vers les processus (restauration) et celle centrée sur les habiletés (réorganisation) tient au fait que la première vise non seulement à améliorer une habileté mais également à restaurer le (ou les) processus cognitif(s) défectueux. Ainsi pour le rétablissement du processus, le transfert à d'autres situations est envisageable, alors que pour l'entraînement d'une habileté, les progrès attendus se limitent à cette habileté. Le training cognitif peut ainsi être proposé à d'autres types de populations, sans lésion cérébrale, mais avec un déclin cognitif « normal », comme par exemple les personnes âgées.

Appliqués aux processus attentionnels, les objectifs de la rééducation peuvent prendre la forme de (Michel & Mateer, 2006) :

- La rééducation directe des déficits attentionnels : le participant s'entraîne à effectuer des tâches variées mettant en jeu les processus attentionnels.
- Du training d'habiletés spécifiques : il s'agit d'entraîner une habileté fonctionnelle qui requiert l'attention (comme par exemple l'activité de conduite automobile).
- Des stratégies et supports : il s'agit de minimiser l'effet d'un déficit attentionnel grâce à une modification de l'environnement. Il peut s'agir par exemple de stratégies de réduction de la distraction durant des tâches attentionnelles ou l'utilisation de lunettes à prisme pour la rééducation de la négligence spatiale unilatérale (Rossetti, et al., 1998).

Selon Cicerone (2005), l'objectif final d'une rééducation n'est pas forcément de savoir si la réhabilitation cognitive a été efficace mais plutôt de pouvoir observer avec précision les

facteurs thérapeutiques et les caractéristiques des patients qui permettent d'optimiser les résultats cliniques d'une rééducation cognitive.

## 2.2 Deux approches rééducatives dans le training cognitif

On distingue classiquement deux dimensions dans la rééducation cognitive : l'approche restauratrice et l'approche fonctionnelle. Certains auteurs parlent d'objectifs de rééducation tandis que d'autres préfèrent parler d'approches rééducatives et excluent alors la catégorie d'aménagement de l'environnement des stratégies rééducatives. Le training cognitif à **visée restauratrice** se focalise sur le réentraînement systématique des processus cognitifs (attention, mémoire...) alors que le training à **visée fonctionnelle** met l'accent sur le comportement observable, les habiletés et les activités de vie quotidienne. Ces approches ont des objectifs et des méthodes qui diffèrent : dans l'approche restauratrice on demande au patient d'apprendre, de manipuler l'information et on essaye d'améliorer l'habileté cognitive comme un muscle avec des stimuli qui augmentent graduellement en difficulté. L'approche fonctionnelle, quant à elle, utilise des stratégies plus écologiques en entraînant des habiletés de routines dans des environnements cibles. En résumé, l'approche restauratrice fait référence à l'objectif de rétablissement de la fonction puisqu'elle entraîne la façon de « penser » des individus alors que l'approche fonctionnelle réfère à l'objectif de réorganisation puisqu'elle apprend à l'individu « comment faire ». La différence neurologique entre les deux méthodes réside dans le fait que pour l'une on fait appel aux circuits neuronaux utilisés avant l'accident alors que pour l'autre on utilise des nouveaux réseaux qui n'étaient pas dédiés à cette fonction au départ mais qui le deviennent avec l'entraînement (Robertson & Murre, 1999).

Ces deux approches semblent difficiles à combiner, les études s'orientent bien souvent vers l'une ou l'autre bien qu'elles présentent toutes deux des avantages et inconvénients bien connus de la littérature.

Cicerone et al. (2000) ont réalisé une revue de littérature sur la rééducation cognitive générale chez des patients cérébro-lésés. Ces auteurs pensent qu'il est encore très difficile de comparer des études entre elles et donc de savoir quelle approche (restauratrice ou fonctionnelle) serait la plus bénéfique. L'important, selon eux, consiste dans un premier temps à utiliser des mesures qui permettent de refléter les niveaux de déficiences ou de handicap pour pouvoir dans un deuxième temps avoir une idée de l'impact de l'une ou l'autre approche. En d'autres termes, une homogénéisation des mesures outcomes avec pour directive la généralisation du bénéfice en situation de vie quotidienne devient nécessaire.

Dans le domaine de l'attention, il est aussi possible d'appliquer ces deux approches pour traiter les déficits attentionnels après traumatisme crânien soit (1) en s'occupant directement de la fonction cognitive endommagée, soit (2) en assistant les personnes avec des déficits attentionnels en leur apprenant ou ré-apprenant comment exécuter une habileté spécifique ou fonctionnelle. Park et Inglès (2001) montrent que seul le training d'une habileté spécifique est bénéfique, contrairement au training direct qui ne permet pas d'amélioration (à l'exception des études sans groupe contrôle où l'effet du training est confondu avec l'effet de la pratique). Toutefois, Solhberg et al. (2003) ont fait à leur tour une revue de littérature sur l'efficacité d'un training direct de l'attention après traumatisme crânien et leurs conclusions vont à l'encontre de l'idée précédente. Les auteurs considèrent ainsi que les deux approches sont appropriées à partir du moment où les variables utilisées en outcomes sont des mesures du fonctionnement cognitif.

Malgré tout, certains auteurs pensent qu'une approche permettant de coupler les deux dimensions serait sans nul doute la plus appropriée et efficace (Rizzo, et al., 2001a). Selon eux, la réalité virtuelle permettrait justement de combiner l'approche fonctionnelle et organisatrice et produirait ainsi une méthode qui intégrerait les meilleures caractéristiques de chacune d'entre elles. En effet, la réalité virtuelle permettrait un training à visée restauratrice dans un contexte fonctionnel pertinent et écologique.

### **2.3 L'importance du feedback dans la rééducation**

Lorsque l'on s'intéresse aux patients traumatisés crâniens, il faut accorder de l'importance à la conscience que les patients ont de leurs troubles. Un certain nombre d'entre eux sont anosognosiques et n'ont donc pas conscience d'avoir des difficultés suite à leurs lésions. Pour une participation active des patients, lorsqu'on débute un programme de rééducation, il faut avant toute chose travailler sur la levée de l'anosognosie. Cependant cet objectif peut être long à atteindre et de fait, ce travail est loin d'être systématique. Pourtant il est important d'inclure un travail de ce type à l'intérieur même du programme de training cognitif. Une des façons de procéder consiste à mettre en place un feedback à la suite des exercices effectués. Le feedback consiste à faire un retour au patient sur ses performances, de façon à ce qu'il puisse prendre conscience de ses difficultés éventuelles. Ce feedback peut aussi être utilisé dans un entraînement cognitif chez des sujets sains. Bien que ces participants ne présentent pas d'anosognosie à proprement parler, il n'est pas toujours évident de se rendre compte de ses propres erreurs et d'objectiver ses résultats. L'expérimentateur peut alors intervenir pour éviter au participant de réitérer ses erreurs. Il s'agit d'améliorer les capacités métacognitives des participants, de façon à rendre le training plus efficace. Le postulat sous-jacent est qu'une personne capable de prendre conscience, de voir et de comprendre ses erreurs, sera alors plus vigilante lors des exercices ou sessions qui suivront.

Pour Hopewell (2009), l'amélioration des capacités métacognitives d'un patient peut se faire de deux façons et peut même représenter une stratégie de rééducation à part entière. Selon lui, il existerait deux types de stratégies rééducatives dédiées à la conduite automobile, mais qui peuvent aussi s'appliquer à la rééducation en général : (1) le **training cognitif**, qui a pour but d'aider le processus de rétablissement en améliorant le fonctionnement cognitif grâce à l'entraînement d'habiletés cognitives déficitaires chez des patients traumatisés crâniens ; (2) le **management cognitif** qui est une stratégie qui ne prétend pas restaurer les fonctions cérébrales perdues, mais plutôt aider le patient (et la famille) à comprendre la sévérité et la nature des processus cognitifs atteints. Selon Hopewell, cette deuxième stratégie rééducative intègre les stratégies d'amélioration du self-monitoring, alors que le feedback sur les performances des patients ferait partie intégrante de la rééducation (training cognitif). En d'autres termes, un feedback ne permettrait pas d'améliorer la métacognition en tant que telle si la méthodologie employée ne l'intègre pas dans un training métacognitif à part entière.

Ownsworth et Clare (2006) ont réalisé une revue de littérature selon laquelle les patients présentant une meilleure conscience de leurs déficits sont ceux pour qui la réhabilitation est la plus favorable. Le feedback peut donc être considéré comme un facteur permettant aux patients d'améliorer leur condition de sortie du centre de réadaptation. Cependant, il est important de noter que les auteurs n'ont relevé que les études utilisant un programme de rééducation centré uniquement sur la levée de l'anosognosie ou la prise de conscience du trouble. Aucune étude n'associait cette levée de l'anosognosie (via un feedback) à un training cognitif.

La prise de conscience des déficits semble indispensable chez les personnes cérébro-lésées et représente une vraie valeur ajoutée au training cognitif. Ainsi, Huchler et al. (2002)

ont montré que des patients avec traumatisme crânien ou accident vasculaire cérébral n'ont pas conscience de leurs difficultés lors d'un test sur simulateur de conduite et sur route. Le comportement de conduite des patients lors de l'évaluation sur route et sur simulateur de conduite était reporté sur une grille de cotation par le neuropsychologue et le moniteur auto-école. A l'issue de ces épreuves, le patient devait estimer lui-même ses propres performances de conduite à l'aide d'une grille similaire. Les résultats ont montré que les patients avaient une estimation très positive de leurs capacités sur simulateur de conduite, puisque 94% d'entre eux se sont jugés « aptes » à la conduite. Cette tendance était encore plus accentuée en ce qui concerne l'évaluation sur route car aucun des patients ne s'est considéré inapte, alors que 27% d'entre eux avaient pourtant échoué à l'évaluation selon le moniteur d'auto-école. Les analyses de corrélation ont aussi confirmé la faible correspondance entre ce que le patient pensait de sa propre performance et ce que les professionnels évaluaient. Les auteurs concluent finalement que l'auto-estimation des patients était inadéquate et ne représentait en aucun cas une variable pertinente. Par conséquent, la prise de conscience de ses propres difficultés, via un feedback, tient une place prépondérante au sein d'un training cognitif.

Après cet aperçu général sur la rééducation cognitive, nous allons nous intéresser plus spécifiquement à la rééducation de l'attention et à celle des aptitudes à la conduite automobile. Nous proposons un compte-rendu non exhaustif des principaux travaux qui s'y rapportent :

- Le premier paragraphe (rééducation de l'attention) est une revue de littérature des études portant sur un training attentionnel auprès de patients traumatisés crâniens. Ces études sont sans lien avec la problématique de la conduite automobile. Il s'agit d'études qui s'inscrivent seulement dans l'approche restauratrice de la rééducation des processus attentionnels.
- Le deuxième paragraphe (rééducation de la compétence de conduite) est une revue de littérature des principaux trainings visant à améliorer les capacités de conduite, soit en entraînant un processus cognitif impliqué dans la tâche de conduite automobile, soit en entraînant l'habileté de conduite. Cette revue englobe alors les deux types d'approches rééducatives : la rééducation à visée restauratrice (lorsqu'il s'agit de l'entraînement du processus) et la rééducation à visée fonctionnelle (lorsqu'il s'agit de l'entraînement de l'habileté). Les études détaillées dans cette partie ne s'intéressent pas nécessairement aux patients traumatisés crâniens mais peuvent concerner d'autres pathologies ou la population des personnes âgées.

Dans le domaine de la rééducation, les méthodologies employées sont nombreuses et très diversifiées. En effet, beaucoup de variables entrent en jeu et prennent des modalités qui diffèrent selon les études. Il s'agit principalement des tests utilisés pour constituer la baseline, les mesures outcomes et le training. De plus, la dimension temporelle joue un rôle important : la durée de l'entraînement, le nombre de sessions, la durée d'une session, etc. Ainsi, toutes ces données seront précisées dans la revue de littérature qui suit.

### **3. Rééducation de l'attention (approche restauratrice)**

#### **3.1 Introduction à la rééducation *de l'attention***

Les troubles de l'attention après lésion cérébrale sont nombreux et variés et peuvent nuire au bon rétablissement des autres fonctions cognitives. En effet, l'attention serait un pré-requis au fonctionnement des autres processus cognitifs (comme la mémoire) et les patients

présentant des troubles de l'attention profiteraient moins bien des programmes de rééducation (Ben-Yishay, Piasetsky, & Rattok, 1987). Les capacités attentionnelles d'un patient cérébro-lésé deviennent alors de première importance au niveau de la revalidation (Leclercq & Zimmermann, 2000). C'est d'ailleurs une des raisons pour laquelle le training attentionnel est de plus en plus utilisé. De plus, l'activation et la stimulation du système attentionnel faciliteraient le changement des comportements cognitifs et par conséquent amélioreraient les processus attentionnels eux-mêmes (Michel & Mateer, 2006).

Si la rééducation cognitive générale peut être envisagée de différentes façons (voir paragraphe précédent), alors la rééducation spécifique des processus attentionnels peut elle aussi prendre différentes formes : rééducation directe de l'attention, training d'habiletés spécifiques requérant l'attention, et modification de l'environnement (ou supports externes). Cicerone et al. (2000) ont effectué une revue de littérature afin de mettre en avant les études ayant obtenues les meilleurs résultats en termes de rééducation cognitive. Concernant spécifiquement l'attention, ils ne montrent pas d'importantes différences entre l'amélioration obtenue par l'approche restauratrice (première approche) et celle obtenue par l'approche fonctionnelle (deuxième approche), mais ils soulignent tout de même le fait que les études ayant utilisé des tâches fonctionnelles (donc un training d'habileté spécifique) apparaissent comme plus efficaces. Park et Inglès (2001) ont proposé une revue de littérature, avec pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un training de l'attention (approche restauratrice) versus un training des habiletés spécifiques (approche fonctionnelle). En accord avec Cicerone et al. (2000), ils concluent que les déficits de l'attention peuvent être améliorés plus facilement en utilisant un training des habiletés spécifiques.

Le contenu du training cognitif tient une place importante dans l'amélioration de la fonction. Cependant, le choix des mesures utilisées pour mettre en évidence les bénéfices du training est tout autant décisif. Dans la littérature, les méthodes permettant d'évaluer l'efficacité d'un training attentionnel sont diverses et variées. Michel et Mateer (2006) ont listé et analysé les méthodes existantes auprès de patients ayant subi un accident vasculaire cérébral ou un traumatisme crânien. Selon eux, l'efficacité d'un programme d'entraînement peut s'évaluer : (1) par la tâche de training elle-même, (2) par d'autres mesures psychométriques de l'attention, (3) par d'autres mesures psychométriques d'autres fonctions cognitives (ex : mémoire), (4) par des tâches d'activités de vie quotidienne (tâches fonctionnelles), (5) ou par des mesures neurophysiologiques (EEG, IRMf...).

Le contenu du training et le choix des mesures d'évaluation sont d'une grande importance, mais ne permettent pas à eux-seuls, d'expliquer l'efficacité d'un training attentionnel. En effet, d'autres facteurs entrent en jeu, il s'agit des facteurs de nature individuelle (Michel & Mateer, 2006) :

- Les facteurs individuels regroupent : la sévérité de la lésion, le temps post-lésion (phase aigüe, subaigüe), la localisation et la nature de la lésion (focale/diffuse, droite/gauche) et bien d'autres caractéristiques (éducation, motivation, âge...).
- Les caractéristiques du training regroupent : le type d'habileté entraînée, la durée et l'intensité du training, la fréquence des sessions, le cadre choisi...

Cicerone et al. (2000) soutiennent également l'idée selon laquelle les facteurs individuels ne doivent pas être négligés au moment de l'interprétation des résultats. D'ailleurs, selon eux, un training attentionnel serait plus efficace s'il est réalisé en phase subaigüe du traumatisme crânien ou de l'accident vasculaire cérébral.

Concernant les caractéristiques du training en lui-même, Park et Ingles (2001) soulignent l'importance d'un groupe contrôle (sans training ou avec training différent) dans une étude de rééducation. A partir d'une méta-analyse ils montrent que les études réalisées avec un groupe contrôle sont plus robustes, obtenant moins de résultats significatifs en termes

de bénéfice du training comparées aux études sans groupe contrôle. Selon les auteurs, les études sans groupe contrôle ne permettraient pas de vérifier l'éventuelle implication de l'effet test-retest dans le bénéfice obtenu. De plus, ils suggèrent que les seules améliorations obtenues seraient bien souvent attribuables à l'acquisition d'habiletés spécifiques et non pas à une amélioration directe de l'attention.

L'attention peut se rééduquer de manière spécifique ou globale, avec des tests papier-crayon ou avec un ordinateur. Les recherches peuvent porter sur des études de cas ou des études de groupe. Les premières recherches établies dans le domaine de la rééducation considéraient l'attention comme une entité générale et traitaient le déficit attentionnel avec un programme global sans préciser les objectifs thérapeutiques (Azouvi, et al., 1998). Cependant, elles ont rapidement évolué pour être en accord avec les théories actuelles de l'attention et ainsi prendre en considération les différentes composantes attentionnelles indépendamment les unes des autres. Ainsi, la tendance actuelle est de proposer des programmes d'entraînement spécifiques aux différents domaines attentionnels (Sturm, 1999). De plus, les programmes de rééducation sont de plus en plus conçus dans une optique d'adaptation aux réponses individuelles des patients.

Dans la mesure où beaucoup de paramètres entrent en jeu, il devient alors difficile de comparer l'efficacité d'un type de training par rapport à un autre du fait de l'implication et de la combinaison de tous ces facteurs (diversité des populations étudiées, techniques utilisées, mesure d'évaluation, inclusion de groupe contrôle...). Ainsi, il serait peut-être plus judicieux, plutôt que de tenter de répondre à la question « est-ce qu'un training fonctionne ? », de se demander « quelles sont les conditions requises pour qu'il fonctionne au mieux et auprès de quelle population ? » (Sohlberg, et al., 2003). La méthodologie d'un training attentionnel se doit d'être la plus rigoureuse possible, c'est pourquoi Sohlberg et al. (2003) proposent un guide permettant de mettre en œuvre une expérimentation, comprenant une liste de questions clés à se poser pour améliorer le training attentionnel. Ils proposent trois recommandations principales : (1) les patients n'ayant pas de déficit de vigilance profitent mieux d'un training attentionnel, (2) un training de l'attention doit impliquer des tâches complexes et être conjoint à un training méta-cognitif, et (3) les mesures outcomes doivent utiliser des tâches spécifiques.

Concernant les supports utilisés en rééducation, les tests papier-crayon sont de plus en plus rares de par leur manque de précision par rapport aux tâches informatisées, notamment au niveau de l'enregistrement des temps de réponse. De ce fait, les programmes d'entraînement que nous présentons ci-après, utilisent principalement un training sur ordinateur. Enfin, cette partie relate seulement des études qui s'inscrivent dans l'approche restauratrice, approche la plus répandue dans la littérature relative à la rééducation de l'attention (Park & Ingles, 2001).

### **3.2 Programmes de rééducation attentionnelle**

Comme nous avons pu le souligner dans la section de chapitre portant sur l'attention et la conduite automobile, la relation entre processus attentionnels et processus exécutifs est très étroite et ceci même au niveau neuronal (implication du cortex frontal pour les deux types de processus). Bien que ces processus cognitifs soient utilisés parfois de manière interchangeable sur le plan théorique, en pratique, les recherches portant sur la rééducation se différencient suivant le type processus étudié (Robertson, 2002). De ce fait, les études présentées dans cette partie utilisent des paradigmes qui réfèrent de manière exclusive aux processus attentionnels.

Ben-Yishay, Piasetsky et Rattok (1987, cités par Sturm, 1999) sont parmi les premiers à avoir développé un programme de rééducation attentionnelle informatisé, nommé Orientation Remedial Module (ORM). Ce training s'adressait à un groupe de 40 patients traumatisés crâniens et était composé de cinq exercices portant sur : l'alerte, l'attention sélective, l'attention soutenue, l'estimation du temps et la séquentialisation des réponses. Notons l'incertitude quand à la durée du training, qui, pour Sturm (1999) a été étalé sur six ans, alors que pour Azouvi, Couillet et Agar (1998), il serait de neuf semaines (36 heures). La baseline était composée d'épreuves comprenant différentes mesures cognitives et neuropsychologiques (tests standardisés). L'efficacité du traitement a été appréciée à partir d'un post-test comprenant les cinq exercices utilisés au cours du training ainsi qu'un re-test de la baseline. Les résultats ont montré une amélioration des performances, principalement sur les tâches utilisées lors de la rééducation (les cinq exercices), et sur quelques mesures psychométriques comme le temps de réaction à une tâche visuelle, ou l'empan de chiffre. Ainsi, la rééducation a entraîné des améliorations spécifiques au niveau des tâches entraînées. Cependant, aucune généralisation n'a pu être observée pour les autres aspects attentionnels. Malgré son intérêt, cette étude soulève un certains nombres de problèmes méthodologiques : l'absence de contrôle de l'effet de récupération spontanée, l'absence d'évaluation du transfert des acquis dans la vie quotidienne, l'effet re-test, ou l'effet de stimulation globale non spécifique (Azouvi, et al., 1998). Sturm (1999) suggère que l'amélioration observée refléterait un effet « trivial » d'entraînement et non un effet thérapeutique.

Sohlberg et Mateer (1987) ont réalisé une étude de cas auprès de quatre patients traumatisés crâniens soumis à un entraînement spécifique de l'attention. Pour cela, ils ont développé un programme clinique d'entraînement de l'attention fondé sur une conception de l'attention multidimensionnelle. Ainsi, leur training nommé Attention Process Training (APT), comprenait cinq composantes : l'attention focalisée, l'attention soutenue, l'attention sélective, la flexibilité attentionnelle et l'attention divisée. Ces tests, développés par les auteurs, étaient informatisés pour la plupart, ou auditifs. Le training s'étendait de quatre à huit semaines à raison de sept à neuf séances par semaine, selon la sévérité des troubles du patient. Le test du PASAT, considéré comme une mesure sensible aux déficits attentionnels, a servi de ligne de base principale. La mesure non-cible était un test de perception visuo-spatiale. Ces deux mesures étaient effectuées à huit reprises : deux fois avant, quatre fois pendant et deux fois après le training. Les quatre patients avaient des scores pathologiques lors de la première réalisation du test du PASAT : deux d'entre eux ont obtenu des scores inférieurs à deux écarts-types de la moyenne (trouble modérés), les deux autres se trouvant à trois écarts-types de la moyenne (troubles sévères). A l'issue du training, les résultats ont montré une amélioration au PASAT pour les quatre patients. Les patients avec troubles modérés se sont améliorés jusqu'à obtenir un score considéré dans la norme et les patients avec troubles sévères n'obtenaient plus que de légers troubles au PASAT. De plus, cette amélioration de l'attention est restée stable après la fin du traitement (évaluation en follow-up à huit mois). En revanche, leurs performances au test de perception visuelle n'ont montré aucune progression pendant la phase de traitement de l'attention, suggérant bien un effet spécifique aux processus attentionnels. Les auteurs de cette étude sont donc en faveur d'une rééducation spécifique de l'attention, malheureusement la baseline comprenait seulement des mesures neuropsychologiques classiques, sans étudier le transfert dans la vie quotidienne (Azouvi et al., 1998).

Le programme APT a été réutilisé par d'autres auteurs (Park, et al., 1999b), qui ont proposé deux améliorations : (1) une augmentation de l'effectif des patients traumatisés crâniens (étude de groupe avec N=23), (2) l'ajout d'un groupe contrôle qui effectuait les mêmes mesures sans bénéficier de training. La baseline utilisée était identique à celle de Sohlberg et Mateer (1987), mais les motivations étaient différentes. Selon Park et al. (1999),



tous les exercices utilisés dans le programme APT requièrent l'attention soutenue. Ces auteurs postulent alors que si l'APT a un effet spécifique, on devrait observer une amélioration des performances en attention soutenue. Le test du PASAT, permettant de mesurer l'attention soutenue, a naturellement été choisi comme baseline. Deux groupes ont été constitués, un groupe expérimental bénéficiant d'un training avec APT de 40 heures (vingt sessions en moyenne) et un groupe contrôle sans training qui a seulement réalisé l'évaluation pré et post-training avec le PASAT. Les résultats ont montré une amélioration du groupe expérimental au PASAT, tout comme dans l'étude de Sohlberg et Mateer (1987). Cependant le groupe contrôle a obtenu un pattern similaire, à savoir une amélioration entre le pré-test et le post-test. Selon les auteurs, cette amélioration serait alors due à l'effet spécifique de la pratique du PASAT (effet test-retest) et non pas à l'effet de l'entraînement. De plus, ils formulent une nouvelle hypothèse explicative de l'amélioration du groupe expérimental, celle du « développement d'habileté spécifique ». Sohlberg et Mateer (1987) avaient proposé l'hypothèse « d'une amélioration de la fonction cognitive » alors que Park et al. (1999) postulent que certains exercices durant le training ont permis de développer une habileté spécifique nécessaire à la réalisation du PASAT, comme l'ajout de nombre par exemple.

Niemann et al. (Niemann, Ruff, & Baser, 1990) ont examiné l'efficacité d'un training attentionnel informatisé auprès de 26 patients avec traumatisme crânien modéré à sévère. Les patients étaient répartis en deux groupes, un groupe expérimental bénéficiant d'un training de l'attention et un groupe contrôle bénéficiant d'un training des processus mnésiques. Le training durait neuf semaines, à raison de deux sessions de deux heures par semaine, soit 36 heures au total. Plusieurs composantes attentionnelles ont été entraînées : l'attention sélective visuelle, l'attention sélective auditive et l'attention divisée. Il s'agissait donc d'une approche spécifique de l'attention. Afin d'évaluer les effets de la rééducation, des tests papier-crayon ont été administrés à onze reprises. Ils comprenaient des mesures-cible (quatre tests évaluant l'attention) et des mesures non-cible (un test évaluant l'apprentissage et un mesurant la mémoire). Les résultats ont montré une amélioration aux tests attentionnels (mesures-cible) bien plus importante pour le groupe expérimental. Les patients se sont principalement améliorés au Trail Making Test B (TMTB), or, certaines tâches utilisées dans le training attentionnel mettaient en jeu la capacité de flexibilité mentale, également requise dans le TMTB. Selon Park et Inglès (2001), l'amélioration observée serait alors due au développement d'une habileté spécifique et non à une amélioration du processus cognitif. Enfin, le bénéfice obtenu grâce au training attentionnel ne s'est pas généralisé à d'autres processus cognitifs (mesures non-cible) et ceci se vérifie aussi pour le bénéfice du training mnésique sur les tests attentionnels. Les auteurs concluent donc à la spécificité du training attentionnel.

Gray et al. (Gray, Robertson, Pentland, & Anderson, 1992) ont aussi utilisé un training attentionnel sur ordinateur auprès d'une population de personnes cérébro-lésées (N=31). Les patients étaient répartis en deux groupes, le premier bénéficiait d'un training attentionnel sur ordinateur, alors que le deuxième utilisait l'ordinateur de manière plus ludique (tâches récréatives). Le training était composé de quatorze sessions d'une heure et durait trois à neuf semaines, selon les difficultés des patients. Le training attentionnel comprenait cinq tâches : une tâche de temps de réaction visuel, une tâche de détection de répétition de séquences de chiffres, une tâche informatisée d'appariement entre chiffres et symboles (type Code de la WAIS), la tâche de Stroop informatisée et deux tâches d'attention divisée. Le groupe contrôle effectuait, quant à lui, des jeux sur ordinateur (anagramme, puzzle, etc.). La seule contrainte était de réaliser des sessions d'une durée équivalente au groupe expérimental. Tous les patients étaient évalués avant le training, tout de suite après et

six mois après avec des tests neuropsychologiques centrés sur l'attention et non utilisés durant l'entraînement. L'évaluation incluait, entre autres, le PASAT, le test des cartes Wisconsin Card Sorting Test (WCST) et des sub-tests de la WAIS-R. Les auteurs ont seulement rapporté des différences mineures entre le début et la fin du training. En revanche, des différences significatives apparaissent six mois après l'entraînement pour trois tests attentionnels, seulement pour le groupe expérimental. Il s'agissait des performances au PASAT, à l'empan de chiffres et au complètement d'image de la WAIS. Les auteurs concluent que le bénéfice obtenu pour le groupe expérimental commence pendant le training mais peut aussi se poursuivre après la phase d'entraînement. Cette étude montre donc une certaine amélioration des processus entraînés avec un transfert à des tâches non entraînés. Une généralisation en vie quotidienne n'a par contre pas été étudiée.

Gray et Robertson (1989) avaient déjà utilisé ce même design expérimental lors d'une précédente étude réalisée auprès de trois patients avec traumatisme crânien. La baseline était multiple et comprenait des mesures de la fonction déficitaire (fonction cible) et des mesures d'une fonction dite de contrôle (toute autre fonction cognitive préservée). Les résultats montraient une stabilité de la performance obtenue lors de la mesure de la fonction contrôle et une amélioration de la fonction cible (attention soutenue) pendant le training. À la suite de ces deux études (Gray & Robertson, 1989; Gray, et al., 1992), les auteurs concluent à l'efficacité d'un training seulement si deux conditions sont réunies : si l'on observe un changement de la performance au test impliquant le processus cognitif ciblé et si la performance au test neutre reste la même.

Certains chercheurs obtiennent des résultats moins encourageants concernant le bénéfice d'un training attentionnel (Ponsford & Kinsella, 1988). Ces auteurs ont utilisé un programme de training attentionnel sur ordinateur auprès de dix patients avec traumatisme crânien. Leur objectif était de vérifier l'efficacité d'un entraînement centré spécifiquement sur la vitesse de traitement. Les auteurs sont partis du constat suivant : un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information contribuerait significativement à la production de déficits attentionnels (Van Zomeren & Van den Burg, 1985). Par conséquent, ils ont entraîné spécifiquement la vitesse de traitement avec comme hypothèse une répercussion du bénéfice sur l'efficacité attentionnelle. Le protocole expérimental comprenait quatre périodes : une phase sans training (A), une phase de training sans feedback (B) et un training avec feedback (C) ; enfin à nouveau la phase A. Chaque phase de training (A et B) durait trois semaines et comprenait quinze sessions de trente minutes, soit 15 heures d'entraînement au total. Cinq tâches informatisées de difficulté croissante ont été utilisées : une tâche de temps de réaction simple, une tâche de recherche visuelle, et trois tâches de détection de cible (appui sur bouton-réponse). L'efficacité du traitement a pu être observé avec des mesures psychométriques de la vitesse de traitement de l'information (épreuve de transcodage, de temps de réaction à choix et une tâche de barrage), ainsi qu'une tâche n'impliquant pas les processus attentionnels. Trois évaluations ont été réalisées, une avant de débiter le training, une au milieu (à trois semaine) et une à la fin (à six semaine). La baseline a été effectuée à plusieurs reprises de façon à s'affranchir de l'effet de récupération spontanée. Bien que les patients aient montré une amélioration aux mesures psychométriques (pour les trois mesures de la vitesse de traitement uniquement), il n'y a pas eu d'évolution des performances au cours des six semaines. En d'autres termes, les temps de réponse obtenus aux cinq exercices du training n'ont pas diminués au cours des quinze sessions. Les auteurs concluent que la récupération spontanée serait responsable de l'amélioration observée en post-test dans cette étude.

Une autre hypothèse explicative à l'absence d'effet du training peut être le fait que l'amélioration de la vitesse de traitement est plus robuste que l'amélioration d'autres processus attentionnels. Partant de ce constat, Sturm et al. (Sturm, Willmes, & Orgass, 1997)

suggèrent que les bénéfices d'un training attentionnel sont meilleurs dans des tâches plus complexes qui requièrent l'attention sélective ou divisée contrairement à des tâches plus basiques de temps de réaction ou vigilance.

Pour tester l'hypothèse selon laquelle des déficits attentionnels spécifiques nécessitent une rééducation spécifique, Sturm et al. (1997) ont développé une batterie de rééducation informatisée, nommée AIXTENT. Les auteurs ont strictement respecté les quatre processus attentionnels décrits dans le modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994). La batterie permettait ainsi de travailler l'alerte, la vigilance, l'attention sélective et l'attention divisée. L'étude a été effectuée auprès de patients présentant des troubles attentionnels secondaires à un accident vasculaire cérébral (N=38). Les exercices d'entraînement ressemblaient à des jeux vidéo mettant en scène des situations de vie quotidienne. L'alerte phasique a été entraînée avec une tâche de simulation de conduite d'une voiture dans laquelle le patient devait contrôler le compteur de vitesse et éviter les collisions avec des obstacles inattendus (le patient ne devait pas diriger le véhicule). Les obstacles étaient indiqués par des signaux visuels qui servaient de signal avertisseur. La tâche de vigilance consistait à surveiller un écran de radar sur lequel apparaissaient des objets volants. Le patient devait surveiller les objets qui se déplaçaient excessivement lentement à travers l'écran et réagir lors d'un changement de vitesse. La tâche d'attention sélective consistait à sélectionner le plus rapidement possible une cible, présentée au préalable, parmi des distracteurs mobiles. Enfin, pour entraîner l'attention divisée, une tâche de simulateur de vol a été développée dans laquelle le patient devait surveiller deux séquences de stimuli indépendants (de sources différentes ou non). Le training était divisé en deux périodes successives, les patients étaient dans un premier temps entraînés avec les exercices mettant en jeu la composante intensive de l'attention puis ils bénéficiaient du deuxième training basé sur la composante sélective de l'attention (ou inversement). Chaque période comprenait quatorze séances d'une heure et durait trois semaines. L'évaluation permettant d'évaluer les bienfaits du training était réalisée à trois reprises : au commencement, en fin de première période, puis en fin de deuxième. Le Test d'Évaluation de l'Attention (TEA), permettant de mesurer chaque processus attentionnel indépendamment, a été utilisé à cet effet. Les résultats ont montré une amélioration des aspects sélectifs de l'attention après une rééducation sélective ou intensive, et une amélioration des aspects intensifs de l'attention seulement après une rééducation intensive. De plus, une dégradation de l'efficacité attentionnelle a été observée après une rééducation sélective de l'attention chez des patients avec troubles de l'intensité de l'attention. Les auteurs concluent que l'intensité de l'attention doit être rééduquée de manière spécifique alors que la sélectivité de l'attention peut être améliorée avec une rééducation non spécifique. Les résultats ont donc permis de confirmer en partie l'hypothèse des auteurs, à savoir une rééducation attentionnelle se doit d'être spécifique, d'autant plus pour les aspects liés à l'intensité de l'attention (vigilance et alerte). Sturm et al. (1997) établissent alors une distinction claire entre les fonctions basiques (intensité) et les fonctions plus contrôlées (sélectivité) de l'attention ; la sélectivité de l'attention étant un domaine plus élaboré, elle pourrait profiter d'un traitement des composantes de plus bas niveau.

Sturm et al. (1997) défendent l'idée selon laquelle chaque processus attentionnel doit être entraîné de manière indépendante. De plus, ils insistent sur la prise en considération des déficits individuels des patients de façon à adapter le programme de training et ainsi éviter un éventuel déclin des performances après un training inadapté. Cette recherche a été effectuée auprès de patients avec des lésions focales, leurs résultats ne peuvent donc pas être transposés directement à des sujets souffrant de lésions diffuses, comme les patients traumatisés crâniens (Azouvi, et al., 1998). Toutefois, cette étude méritait d'être mentionnée ici, du fait de sa méthodologie rigoureuse.

Suite à ces derniers travaux (Sturm et al., 1997), certains chercheurs ont utilisé des programmes de rééducation destinés à ré-entraîner le processus attentionnel spécifiquement atteint chez le patient. Dans cette lignée, Couillet (2002) s'est intéressée à la rééducation de l'attention divisée chez un patient traumatisé crânien ayant des déficits de l'attention divisée objectivés à l'aide du TEA (Zimmermann & Fimm, 1994). Ce patient présentait un trouble électif en double tâche, autrement dit, seul l'attention divisée était déficitaire, les autres processus attentionnels étant préservés. La méthodologie employée pour le training suivait la méthode ABAB, c'est-à-dire une alternance entre une période de rééducation non spécifique (A) et une période de rééducation spécifique de l'attention divisée (B). Chaque période A durait quinze jours avec six séances d'une heure et chacune des périodes B durait un mois avec douze séances d'une heure, ainsi l'intégralité du training s'étendait sur une période de trois mois. Dans un premier temps, les tâches travaillées pendant la période B étaient des simples tâches, ensuite il s'agissait de doubles tâches avec toujours deux modalités d'entrée différentes (visuelle ou auditive). Les tâches visuelles étaient généralement informatisées et couplées à une tâche auditivo-verbale. Un bilan de suivi a été effectué à six reprises : une fois avant de débiter l'entraînement, entre chaque période et en follow-up (un mois après). Il s'agissait d'un bilan neuropsychologique comprenant entre autres quatre épreuves de la TEA, un empan de chiffre et le TMT. Une mesure journalière a été réalisée en plus, de façon à avoir une progression objective des performances du patient au jour le jour ; il s'agissait de la double tâche de Baddeley. Les résultats ont montré une diminution progressive des temps de réponse enregistrés quotidiennement à la double tâche, jusqu'à atteindre un temps de réaction qui a diminué de moitié en fin de prise en charge. Les auteurs notent que l'amélioration se situait essentiellement lors des périodes B, c'est-à-dire lorsque la rééducation spécifique était appliquée. Durant les périodes A, ils ont observé une stagnation du temps de réaction, ce qui confirme l'efficacité et justifie l'utilisation d'une rééducation spécifique. Des résultats similaires ont été observés lors des bilans de suivi, le patient s'est amélioré de manière significative à toutes les épreuves neuropsychologiques. Les auteurs tempèrent malgré tout leurs résultats en expliquant que les effets bénéfiques de l'entraînement n'ont pas eu de répercussion en vie quotidienne.

Leclerc (2002a) a aussi étudié les effets d'une prise en charge spécifique de l'attention divisée chez un patient ayant subi un traumatisme crânien. La baseline comprenait deux épreuves de temps de réaction visuel (simple tâche et double tâche), ainsi que deux tâches de temps de réaction à choix multiple. Le training utilisait un paradigme de double tâche composé d'une épreuve de temps de réaction simple (apparition d'une cible à l'écran) et d'une épreuve de répétition à haute voix. L'intervention se donnait pour but d'augmenter progressivement la charge de travail de la tâche secondaire. La phase de training durait trois mois à raison de quatre à cinq séances par semaine. Les résultats ont montré une amélioration progressive des performances du patient aux épreuves spécifiques d'attention divisée, tout au long du programme de rééducation. De plus, le patient s'est amélioré entre l'évaluation pré et post-training, que ce soit pour des tâches entraînées ou des tâches n'ayant pas fait l'objet de traitement. L'auteur conclue à un transfert des acquis à d'autres tâches attentionnelles (non entraînées) et observe de manière subjective une généralisation à certaines situations de vie quotidienne.

Ces deux études (Couillet, 2002; Leclercq, 2002a) évoquent la possibilité de rééduquer l'attention à condition de repérer le déficit spécifique du patient et de respecter son profil lors du choix des exercices de training. Le modèle de Van Zomeren & Brouwer (1994) semble donc toujours d'actualité et celui auquel on peut se référer pour traiter des déficits attentionnels (Couillet, Asloun, & Azouvi, 2006).

Toutes ces études portant sur la rééducation apportent des preuves de l'efficacité d'un training attentionnel. Cependant, nous sommes en mesure de nous demander s'il existe des indices neurophysiologiques d'une amélioration après rééducation.

Plusieurs études se sont intéressées à la rééducation attentionnelle avec utilisation de l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) (Longoni, et al., 2000; Sturm, et al., 2004). Leur méthodologie était similaire à celle de Sturm et al. (1997) car ils ont utilisé la batterie de test AIXTENT pour le training attentionnel et la batterie TEA pour l'évaluation neuropsychologique en baseline. Leur but était d'entraîner spécifiquement l'alerte phasique chez des patients ayant eu un accident vasculaire droit. Longoni et al. (2000) ont fait une « étude pilote » auprès de deux patients avec accident vasculaire cérébral, reprise par Sturm et al. en 2004 en augmentant l'effectif (N=8). Sturm et al. (2004) ont constitué deux groupes de quatre patients, un groupe expérimental bénéficiant d'un training spécifique de l'alerte phasique sur ordinateur et un groupe contrôle ayant un entraînement mnésique et verbal. Les patients ont tous effectué quatorze sessions de training de 45 minutes. L'évaluation était réalisée avant et après l'entraînement et comprenait des tests neuropsychologiques ainsi que des mesures IRMf et PET scan. Les résultats ont montré que trois patients sur quatre du groupe expérimental se sont améliorés aux tests attentionnels. De plus, ces mêmes patients ont obtenu un changement au niveau du pattern d'activation cérébrale dans la région fronto-pariétale droite, connu pour sous-tendre le processus d'alerte phasique. Le groupe contrôle n'a quant à lui, montré aucune différence entre la mesure IRMf pré et post-training. Les auteurs concluent qu'un training de l'alerte phasique peut avoir une influence bénéfique tant au niveau neuropsychologique qu'au niveau neurophysiologique.

Kim et al. (Kim, Yoo, Park, Kim, & Na, 2009) ont aussi utilisé l'IRMf dans une recherche visant à étudier l'impact d'une rééducation attentionnelle chez des patients avec traumatisme crânien (N=17). Un groupe contrôle, constitué de sujets sains, réalisait seulement l'évaluation IRMf, sans entraînement. De ce fait, le réseau cérébral utilisé pour effectuer les tâches attentionnelles pouvait être observé chez des sujets sains et être comparé à celui utilisé par les patients traumatisés crâniens. L'entraînement cognitif ciblait plusieurs processus attentionnels et était effectué sur ordinateur à l'aide d'un logiciel commercialisé (ComCog). Chaque session de training durait trente minutes et avait lieu trois fois par semaine pendant un mois (six heures au total). La baseline utilisée comprenait une tâche unique mettant en jeu le paradigme de Posner (tâche d'attention visuo-spatiale avec ou sans indigage). Cette même tâche était utilisée à nouveau en post-test. Les résultats ont montré une différence d'activation neuronale lors de la baseline entre le groupe contrôle et le groupe de patients. L'IRMf a mis en évidence une réduction de l'activation du cortex cingulaire antérieur chez les patients traumatisés crâniens. Néanmoins, après avoir bénéficié du training attentionnel, les patients ont amélioré leurs performances à la tâche attentionnelle (paradigme de Posner). De plus, ce changement s'est accompagné d'une augmentation de l'activité du réseau cérébral responsable des processus attentionnels, notamment le cortex cingulaire postérieur, se rapprochant alors de l'activation cérébrale des sujets sains. Les auteurs concluent que le bénéfice du training attentionnel s'est objectivé au travers des deux mesures considérées : la mesure neuropsychologique et la mesure électrophysiologique.

### **Synthèse sur la rééducation directe de l'attention**

Les éléments bibliographiques analysés concernant la rééducation directe de l'attention montrent l'intérêt de cette approche, mais amène à se poser une question essentielle à propos de la généralisation du bénéfice du training attentionnel en vie quotidienne. Très peu d'études ont permis de répondre positivement à cette question ou ont

même utilisé une mesure écologique permettant d'y répondre. Il faut également s'interroger sur l'hétérogénéité des populations, le manque de précision quant à l'aspect attentionnel ciblé ou encore l'absence de groupe contrôle.

Il y a tout de même plusieurs principes qui émergent de ces études, le premier étant le fait que la rééducation de l'attention constitue un pré-requis à tout autre apprentissage, qu'il soit sensoriel ou moteur. Le deuxième est que le réentraînement aspécifique de l'attention a littéralement été abandonné pour privilégier le développement de nouvelles stratégies ciblant des mécanismes attentionnels spécifiques. Enfin, toutes ces études soulignent l'importance de la prise en compte du pattern de déficits attentionnels du patient dans l'approche de rééducation.

Tableau 3. Récapitulatif des études portant sur *la rééducation de l'attention (approche restauratrice)*

<b>Etude</b>	<b>Population</b>	<b>Training</b>	<b>Evaluation</b>	<b>Résultats</b>
<b>Ben-Yishay et al. (1987)</b>	TC (N=40)	- 36h - 9 semaines - <i>Orientation Remedial Module (ORM)</i> - 5 exercices : attention sélective, attention soutenue, estimation du temps et séquentialisation des réponses	- Tests neuropsychologiques standardisés + tâches de <i>training</i> - Pré-test et post-test	- Amélioration aux tâches de <i>training</i> - Pas d'amélioration au post-test → Effet spécifique aux tâches entraînées
<b>Sohlberg &amp; Mateer (1987)</b>	TC étude de 4 cas	- 4 à 8 semaines - 7 à 9 sessions par semaine - <i>Attention Training Program (APT)</i> - 5 composantes : attention focalisée, soutenue, divisée, sélective et flexibilité attentionnelle	- Mesure cible : <i>PASAT</i> - Mesure non cible : test de perception visuo-spatiale - Pré-test, post-test et <i>follow-up</i> (à 8 mois)	- Amélioration des 4 patients au <i>PASAT</i> en post-test et <i>follow-up</i> - Pas d'amélioration de la mesure non-cible → Effet spécifique de l'entraînement
<b>Park et al. (1999)</b>	TC (N=23) + Groupe contrôle	- 40h - 20 sessions - Groupe expérimental : <i>APT</i> - Groupe contrôle : pas de <i>training</i>	- <i>PASAT</i> - Pré-test et post-test	- Amélioration au <i>PASAT</i> pour le groupe entraîné <b>et</b> pour le groupe non entraîné → Effet de re-test → Hypothèse de développement d'habileté spécifique
<b>Niemann et al. (1990)</b>	TC (N=26)	- 36 h - 9 semaines - 2 sessions de 2h par semaine - Groupe expérimental : <i>training</i> de l'attention - 3 exercices : attention sélective visuelle et auditive, et attention divisée - Groupe contrôle : <i>training</i> des processus mnésiques	- Tests neuropsychologiques standardisés avec 4 mesures cibles (attention) et 1 mesure non-cible (mémoire et apprentissage) - Pré-test et post-test	- Amélioration plus importante du groupe expérimental pour les tests attentionnels - Pas d'amélioration de ce groupe aux mesures non-cible → Effet spécifique de l'entraînement
<b>Gray et al. (1992)</b>	Cérébro-lésés (N=31)	-14 sessions d'1h - 3 à 9 semaines - Groupe expérimental : 5 tâches attentionnelles informatisées - Groupe contrôle : jeux sur ordinateur	- Tests neuropsychologiques standardisés sur l'attention - Pré-test, post-test et <i>follow-up</i> (à 6 mois)	- Peu de différence entre pré et post-test - Amélioration en <i>follow-up</i> - Pas d'amélioration pour le groupe contrôle
<b>Ponsford &amp; Kinsella (1988)</b>	TC (N=10)	- 6 semaines (15h) -15 sessions de 30 min -5 tâches informatisées : TR simple, recherche visuelle, 3 détection de cible	- Mesures psychométriques de la vitesse de traitement - Une mesure non-cible - Pré-test et post-test	- Amélioration entre pré et post-test pour la mesure cible - Pas d'amélioration au cours des 15 sessions → Effet de la récupération spontanée

<b>Sturm et al. (1997)</b>	AVC (N=38)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 étapes (28h)</li> <li>- Chaque étape dure 3 semaines et comprend : 14 sessions d'1h</li> <li>- AIXTENT : alerte, vigilance, attention sélective et divisée</li> <li>- Étape 1 : <i>training</i> de l'intensité</li> <li>- Étape 2 : <i>training</i> de la sélectivité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TEA</li> <li>- Pré-test et post-test</li> <li>- Évaluation entre les 2 étapes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration des aspects sélectifs après <i>training</i> sélectif ou intensif</li> <li>- Amélioration des aspects intensifs après <i>training</i> intensif</li> <li>- Dégradation des aspects intensifs après <i>training</i> sélectif</li> </ul>
<b>Couillet (2002)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TC étude de cas</li> <li>- Trouble attention divisée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-3 mois (18h)</li> <li>- Méthode ABAB</li> <li>- A=<i>training</i> non spécifique</li> <li>- B=<i>training</i> spécifique de l'attention divisée</li> <li>- A : 15 jours, 6 sessions d'1h</li> <li>- B : 1mois, 12 sessions d'1h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tests neuropsychologiques standardisés (TEA, TMT...)</li> <li>- Pré-test et post-test</li> <li>- Entre chaque étape</li> <li>- <i>Follow-up</i> (à 1 mois)</li> <li>- + 1 mesure journalière : double tâche de Baddeley</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution des TR à la tâche journalière lors de la phase B, stagnation en phase A</li> <li>- Amélioration entre pré et post-test + en <i>follow-up</i> sur toutes les mesures</li> </ul>
<b>Leclerc (2002)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TC étude de cas</li> <li>- Trouble attention divisée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3mois</li> <li>- 4 à 5 sessions par semaine</li> <li>- Double tâche avec TR simple et épreuve de répétition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Épreuve de TR</li> <li>- 2 conditions : simple et double tâche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration au cours du <i>training</i> du TR</li> <li>- Amélioration entre pré et post-test sur les tâches entraînées et non entraînées</li> </ul>



#### 4. Rééducation spécifique de la compétence de conduite automobile (approche fonctionnelle et/ou restauratrice)

Selon Brouwer (2002b), la compétence de conduite comprend trois aspects : le savoir-faire du conducteur, l'aptitude à la conduite et le comportement au volant. De ce fait, la rééducation s'intéressant à la problématique de l'activité de conduite automobile peut adopter trois types d'orientations.

Le choix d'une rééducation centrée sur l'habileté spécifique de la conduite peut concerner, d'une part le savoir-faire du conducteur (sur route réelle, sur véhicule électrique, sur simulateur de conduite), et d'autre part le comportement en conduite (éducation sur la réglementation du code de la route). Il s'agit alors d'une approche **fonctionnelle**, dans la mesure où on ré-entraîne une habileté spécifique sans entraîner le processus cognitif déficitaire.

Le choix d'une rééducation centrée sur les processus cognitifs sous-jacents à la tâche de conduite automobile permet d'entraîner *l'aptitude* à la conduite (rééducation attentionnelle, visuo-perceptive, exécutive...). Il s'agira alors d'améliorer les capacités mentales de l'individu pour qu'il puisse conduire de manière plus sécuritaire. Cette orientation de la rééducation concerne donc l'approche **restauratrice**, dans la mesure où l'objectif principal est de restaurer le processus cognitif déficitaire pouvant avoir un impact sur la compétence en conduite automobile.

Chacune des approches rééducatives présente des avantages et des inconvénients. L'efficacité d'un training centré sur les processus attentionnels a, par exemple, souvent été critiquée pour son inefficacité au niveau fonctionnel (Park & Inglès, 2001). C'est à partir de ce constat que beaucoup d'études ont décidé d'orienter leurs travaux sur l'amélioration des performances de l'individu à une tâche spécifique (comme la conduite automobile) et non sur l'amélioration du processus lui-même. Cependant, le training d'une habileté spécifique ne permettrait pas, ou peu, la généralisation aux habiletés non entraînées, contrairement au training des processus attentionnels dont le bénéfice peut s'étendre à plusieurs tâches (Michel & Mateer, 2006).

La section suivante regroupe toutes les études ayant pour objectif d'améliorer la performance en conduite automobile, quelle que soit la population concernée et l'orientation de la rééducation : en entraînant l'habileté spécifique de conduite automobile (approche fonctionnelle), ou en entraînant un processus cognitif impliqué dans la tâche de conduite (approche restauratrice). Suivant la population étudiée les objectifs changent. Le training auprès de patients cérébro-lésés vise une reprise de la conduite automobile plus sécuritaire, alors que le training auprès de personnes âgées a pour objectif de « gommer » les mauvaises habitudes de conduite et remettre à niveau les apprentissages spécifiques au code de la route.

##### 4.1 Training visuo-perceptif ou visuel

Les études qui se sont intéressées à l'amélioration de la compétence de conduite par le biais d'un training visuel sont inéluctablement à visée restauratrice, puisqu'elles sont centrées sur le traitement visuo-perceptif.

Sivak et al. (Sivak, et al., 1984a) ont utilisé des tests papier-crayon comme training perceptif dans le but d'améliorer la performance de conduite de huit **patients cérébro-lésés** (traumatisme crânien et accident vasculaire cérébral). Le training était composé de cinq à neuf sessions pour un total de huit à dix heures d'entraînement perceptif, et utilisait des tâches

qui mettaient en jeu : le scanning visuel, le mouvement du regard, la perception et la discrimination spatiale, la différenciation figure/fond, l'imagerie visuelle, les capacités attentionnelles et la méthode de résolution de problème. Les évaluations pré- et post-training étaient multiples et comprenaient d'une part des tests neuropsychologiques standardisés mettant en jeu les processus visuo-perceptifs (le TMT, des sub-tests de la WAIS : le complètement d'image, l'arrangement d'image...), et d'autre part une évaluation sur route réelle. L'évaluation sur route était effectuée par un moniteur d'auto-école qui mesurait la performance de conduite en fonction de cinq catégories de comportements permettant de calculer un index de conduite : distance de sécurité, franchissement de la ligne blanche, exploration visuelle directe et dans le rétroviseur (lors d'un cédez-le-passage, d'un arrêt ou d'un changement de voie), la trajectoire (en virages, en ligne droite, sur chemin ou autoroute), et la vitesse (respect des limitations). Afin de mesurer le bénéfice obtenu entre l'évaluation pré et post-training, les auteurs ont calculé « un score de changement » aux tests neuropsychologiques perceptifs. Il s'agissait dans la majorité des cas, de soustraire les performances obtenues lors du pré-test à celles obtenues lors du post-test. De cette façon, tous les scores positifs étaient considérés comme le reflet d'une amélioration des performances perceptives. Les résultats ont montré que 47 scores sur 59 étaient positifs. Les auteurs ont alors conclu à une amélioration de la mesure visuo-perceptive chez les patients. En ce qui concerne l'évaluation sur route, les auteurs ont rapporté une amélioration significative du score multicomposite après le training. Enfin, des mesures de corrélations ont été établies pour mesurer le lien entre les deux mesures (tests perceptifs et test de conduite). Les résultats ont montré que le degré d'amélioration à la tâche de conduite était directement relié au degré d'amélioration aux tests perceptifs.

Ces résultats sont intéressants, cependant, plusieurs critiques peuvent être formulées : (1) les auteurs parlent d'amélioration perceptive à partir du moment où le score de changement est positif, mais ils ne précisent pas si ce changement entre pré et post-test est significatif. Concernant le test sur route, seul le score global est rapporté, ne permettant pas de mettre en évidence le ou les comportement(s) routiers qui ont été améliorés grâce au training perceptif. (2) les résultats souffrent du fait que l'étude n'inclut pas de groupe contrôle, ainsi, on ne peut écarter l'hypothèse selon laquelle les bénéfices observés seraient dus à un effet re-test. Par conséquent, il est difficile de connaître l'implication du training dans l'amélioration observée.

Une étude bien plus récente s'est également intéressée au training visuel, auprès de patients ayant subi un **accident vasculaire cérébral** (N=26) et désireux de reprendre la conduite automobile (Crotty & George, 2009). Pour ces auteurs, les exercices conventionnels de rééducation de type tests papier-crayon, ne sont pas adaptés pour entraîner une tâche complexe comme la conduite automobile, qui met en jeu de multiples habiletés. À la différence de l'étude précédente (Sivak, et al., 1984), ils ont utilisé un outil informatisé et spécifique : le Dynavision. Il s'agit d'un grand carré comportant 64 petits boutons avec des diodes rouges, permettant de mesurer la vision centrale et périphérique. Selon Crotty et George, le Dynavision est un outil qui vise l'amélioration des aptitudes à la conduite automobile, étant donné qu'il permet d'entraîner des habiletés spécifiques nécessaires à cette activité comme l'habileté à détecter un stimulus-cible, la rapidité de la réaction ou encore la capacité à combiner le traitement moteur avec le traitement visuel. Deux groupes de patients ont été constitués, un groupe expérimental bénéficiant du training avec Dynavision et un groupe contrôle sans training. La durée du training était de six semaines à raison de trois sessions de 40 minutes par semaine. La tâche du patient consistait à repérer les boutons qui s'éclairent de manière successive et à appuyer dessus le plus rapidement possible. La difficulté de la tâche augmentait de manière croissante en fonction des séances

d'entraînement : le temps d'éclairage de la diode diminuait, la taille du panneau utilisé augmentait et une deuxième tâche de calcul s'ajoutait à la principale. La baseline était multiple et comprenait : une tâche de temps de réaction informatisée et une tâche de balayage visuel réalisée sur le Visual Scanning Analyser (instrument standardisé permettant de mesurer l'étendue du champ visuel d'un individu). Les mesures outcomes reprenaient les tests utilisés comme baseline, plus un test de conduite d'une heure sur route réelle réalisé avec un inspecteur. Durant l'évaluation sur route, un ergothérapeute remplissait une grille d'évaluation de la conduite selon un protocole standardisé. A l'issue du test, l'inspecteur et l'ergothérapeute donnaient un résultat en termes de réussite ou d'échec. Les résultats n'ont montré aucune amélioration des performances des patients aux deux tests visuels (temps de réaction et balayage) entre l'évaluation pré- et post-training. De plus, les résultats à l'évaluation sur route ne différaient pas entre le groupe contrôle (sans training) et le groupe expérimental (training avec Dynavision). Ainsi, le Dynavision ne permettrait ni d'améliorer le champ visuel, ni d'améliorer la performance de conduite. Les auteurs concluent en termes d'approche rééducative, les résultats obtenus s'expliqueraient par un mauvais choix du type de rééducation (approche restauratrice). L'amélioration de l'activité de conduite dépendrait uniquement d'une rééducation à visée fonctionnelle.

Les processus visuels et visuo-perceptifs sont d'une grande importance pour la tâche de conduite, pourtant, à notre connaissance, seule une étude (Sivak et al., 1984) a montré le bénéfice d'un training visuo-perceptif dans une problématique de reprise de la conduite automobile. L'impact d'un training visuel sur la conduite automobile reste donc encore à démontrer. Selon Akinwuntan et al. (2010), il n'est pas surprenant qu'un training avec le Dynavision ou l'UFOV (développé ci-après) ne permettent pas de généraliser à la performance de conduite. Les auteurs expliquent que les instructions données aux participants pour ces deux tests encouragent l'utilisation de la vision périphérique sans mouvement oculaire, alors que l'activité de conduite nécessite de faire attention à chaque détail grâce aux mouvements des yeux.

#### 4.2 Training avec *l'Useful Field of View* (UFOV)

Ball et al. (Ball, Beard, Roenker, Miller, & Griggs, 1988) définissent le champ visuel utile (UFOV) comme la région du champ visuel dans laquelle une information importante pour le sujet peut être extraite sans mouvement des yeux ni de la tête. Cette définition comprend une dimension attentionnelle avec sélectivité de l'information. Afin de mesurer la diminution du champ visuel utile chez les personnes âgées ou chez les patients cérébro-lésés, cet auteur a développé le test de l'UFOV (Ball, et al., 1988). Il s'agit d'un outil comprenant trois tâches effectuées sur un écran d'ordinateur : une tâche mesurant la vitesse de traitement de l'information, une mesurant l'attention divisée et une l'attention sélective. À l'origine conçu pour détecter la dégradation de la vision périphérique, ce test continu à l'heure actuelle d'être utilisé en recherche pour enrichir les programmes de rééducation. Il peut s'agir de rééducation visant l'amélioration des performances de conduite chez des patients avec troubles visuels (sans trouble cognitif) ou de rééducation visant l'amélioration d'un processus cognitif particulier chez des personnes cérébro-lésées avec troubles attentionnels.

Mazer et al. (2003) ont utilisé cet outil auprès de 97 patients avec **accident vasculaire cérébral**. Tous les participants ont bénéficié de vingt sessions de training, à raison de deux à quatre par semaine, chaque session durant 30 à 60 minutes. Deux groupes de patients ont été constitués, un groupe expérimental qui a été entraîné avec l'UFOV et un groupe contrôle qui a

reçu un training visuo-perceptif traditionnel sur ordinateur. L'évaluation pré-training comprenait des tests neuropsychologiques visuo-perceptifs et attentionnels standardisés (Test of Every day Attention) et les trois tâches de l'UFOV (vitesse de traitement, attention divisée et attention sélective). L'évaluation post-training était identique avec l'ajout d'un test sur route effectué par un inspecteur de conduite. Un ergothérapeute assistait également au test de conduite sur route et remplissait une grille d'observation en 43 items permettant d'obtenir un résultat en termes d'échec, de réussite ou de reprises de leçons de conduite (résultat intermédiaire). Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les groupes au test de conduite sur route et aux tâches visuo-perceptives. Seuls les résultats au test UFOV diffèrent entre les deux groupes en faveur du groupe expérimental (entraîné avec l'UFOV). L'interprétation des auteurs était plutôt en faveur d'un « effet re-test » et non d'un effet d'apprentissage. Ainsi, les patients ayant bénéficié du training sur l'UFOV se seraient améliorés à l'évaluation sur l'UFOV étant donné qu'ils connaissaient l'outil. Cependant, l'objectif de départ n'a pu être vérifié, cet outil ne permettant pas d'observer un bénéfice sur les performances de conduite de patients avec accident vasculaire cérébral.

Roenker et al. (Roenker, Cissell, Ball, Wadley, & Edwards, 2003) ont utilisé une seule composante de cet outil, à savoir la vitesse de traitement. L'objectif était d'améliorer les performances de conduite de personnes ayant des troubles visuo-attentionnels (réduction du champ visuel utile détecté par l'UFOV) mais exemptes de toute lésion cérébrale : des **personnes âgées** entre 55 et 86 ans (N=95). Les auteurs comparent alors un groupe expérimental bénéficiant d'un entraînement de la vitesse de traitement via l'UFOV (une seule session d'une durée de quatre à cinq heures) et un groupe contrôle entraîné sur simulateur de conduite (deux sessions de deux heures). De plus, un troisième groupe sans déficit ne bénéficiait d'aucun training, mais réalisait les évaluations de début et de fin de protocole. Le training sur simulateur de conduite était effectué dans un premier temps par un inspecteur de conduite qui expliquait au groupe de personnes âgées les règles générales de la conduite sur route, ensuite chaque participant s'entraînait brièvement sur le simulateur de conduite où des techniques d'évitement d'accident et des instructions quant à la sécurité routière leur étaient données. Les évaluations pré- et post-training étaient identiques et comprenaient un test sur l'UFOV, un test sur simulateur de conduite (temps de réaction simple et à choix), et un test sur route réelle (parcours d'une heure avec un moniteur d'auto-école et deux ergothérapeutes). L'évaluation sur route réelle était mesurée à l'aide d'une grille permettant de comptabiliser toutes les manœuvres considérées comme dangereuses par les trois évaluateurs. La grille permettait d'obtenir un score total et un score spécifique à chaque catégorie de comportement routier étudié (vitesse, déviation du véhicule, placement de voie...). Les résultats ont montré une amélioration au test sur l'UFOV seulement pour le groupe expérimental (entraîné avec l'UFOV) et cette amélioration perdue dans le temps (évaluation en follow-up à 18 mois). Concernant les résultats au test sur simulateur de conduite, les auteurs notent une amélioration pour les deux groupes (avec déficits) entre pré-test et post-test, mais l'amélioration est significativement supérieure pour le groupe entraîné avec l'UFOV et reste stable dans le temps. Enfin, pour l'évaluation sur route, les deux groupes avec déficit visuo-perceptif ont atteint le niveau du groupe sans déficit au score global de la grille en post-test. Cependant, cet effet n'était durable que pour le groupe UFOV. Les auteurs ont ensuite analysé plus spécifiquement les comportements qui ont été améliorés : le groupe UFOV a progressé principalement sur une composante de l'échelle de mesure de la performance de conduite (réduction du nombre de manœuvres dangereuses), alors que le groupe simulateur s'est amélioré sur deux composantes (placement de voie et utilisation d'un signallement correct). Ainsi, les auteurs concluent que les deux types de training sont efficaces, mais pas sur les mêmes mesures outcomes. Le groupe entraîné sur simulateur de conduite obtient un bénéfice

plus important au test sur route, alors que c'est le groupe entraîné avec l'UFOV qui obtient de meilleures performances au test sur simulateur. Cependant, la stabilité des résultats ne se retrouve que pour les personnes ayant bénéficié de l'entraînement UFOV.

Ces deux études (Mazer, et al., 2003; Roenker, et al., 2003) ont un résultat commun : un training utilisant l'UFOV aurait un effet bénéfique sur le champ visuel utile, qu'il s'agisse de patients cérébro-lésés ou de personnes âgées avec trouble visuo-spatial. Cependant, le transfert de l'apprentissage sur route diffère en fonction de la population étudiée. Les personnes âgées amélioreraient leurs performance de conduite à un test sur route, contrairement aux patients cérébro-lésés. De plus, cet outil permettrait d'augmenter la vitesse de traitement de l'information et d'améliorer les performances sur simulateur de conduite des personnes âgées.

### 4.3 Training avec un ordinateur

Le développement de l'informatique et du champ de la rééducation ont permis d'augmenter l'utilisation de l'ordinateur comme outil d'entraînement cognitif. De plus, actuellement, un programme de rééducation utilisant l'ordinateur est plus facile à mettre en place qu'une rééducation sur simulateur de conduite.

Une étude pilote a été réalisée auprès de quatre **patients cérébro-lésés** (traumatisme crânien et accident vasculaire cérébral) désireux de reprendre la conduite automobile (Sivak, Hill, & Olson, 1984b). L'objectif était d'améliorer les capacités perceptives des patients pour indirectement améliorer leur performance en conduite automobile. La méthodologie était simple : un seul groupe de patients (pas de groupe contrôle) et une seule mesure pour l'évaluation pré et post-training (des tests neuropsychologiques papier-crayon). Le programme de training perceptif sur ordinateur comprenait six sessions et durait deux semaines (dix heures au total). Les tâches utilisées durant l'entraînement faisaient toutes appel aux processus perceptifs : tâche de recherche visuelle, de balayage visuel, de poursuite visuelle, de discrimination, de jugement d'orientation de ligne, d'imagerie visuelle, de coordination visuo-motrice et d'imagerie visuelle. L'évaluation neuropsychologique comprenait plusieurs tests papier-crayon standardisés mesurant les capacités perceptives, comme par exemple le TMT, l'arrangement d'images, le complètement d'images, etc. Les résultats ont montré un pattern global d'amélioration aux tests perceptifs, cependant deux patients ne s'améliorent que sur un nombre limité de tests. Les résultats sont donc mitigés et aucun groupe contrôle n'a été constitué. Dans une autre de leurs recherches, Sivak et al. (Sivak, et al., 1984a) avaient montré qu'un training perceptif papier-crayon pouvait avoir une influence sur les performances à un test sur route. De ce fait, ils font hâtivement un lien et concluent, qu'un training perceptif sur ordinateur pourrait aussi avoir un effet bénéfique sur les performances de conduite. Pourtant, aucune évaluation écologique de la conduite n'a été réalisée.

D'autres chercheurs ont mis au point un training sur ordinateur, dans une étude plus récente (Cassavaugh & Kramer, 2009). L'objectif était d'améliorer la performance de conduite des **personnes âgées** à un test sur simulateur de conduite. Les 21 participants (âgés en moyenne de 71 ans) ont effectué une évaluation pré-training très complète sur simulateur de conduite comprenant une tâche de poursuite de voiture (tracking), une tâche de mémoire visuelle, une tâche de surveillance (monitoring) et deux doubles tâches. Ils avaient ensuite une période de training avec huit sessions d'entraînement sur ordinateur, de 90 minutes chacune. Le training informatisé était cognitif et centré sur les processus attentionnels puisqu'il

comprenait une tâche de poursuite de cible, une tâche d'attention sélective visuelle, une tâche de N-back visuo-spatiale et deux doubles tâches. Enfin, les participants réalisaient à nouveau l'évaluation sur simulateur de conduite en mesure post-training. Des analyses de régression ont été effectuées pour déterminer les facteurs qui prédisent le mieux la performance de conduite sur simulateur lors du post-test (tâches du training sur ordinateur et du test sur simulateur). Les résultats ont montré que le principal prédicteur de la performance en post-test est représenté par la performance initiale sur simulateur de conduite (pré-training). Le deuxième facteur qui représente une part importante de la variance est la performance initiale aux tâches de training (première session). Enfin, l'effet du training (l'amélioration entre la première et la dernière session) est lui aussi un facteur prédictif de la performance finale sur simulateur de conduite. Le transfert de l'apprentissage serait donc possible d'un ordinateur à un simulateur de conduite chez une population de personnes âgées sans lésion cérébrale. Ainsi, les auteurs concluent qu'il est possible d'améliorer les performances de conduite à une tâche de laboratoire (sur simulateur de conduite) grâce à un training sur ordinateur, laissant supposer la probabilité d'influencer positivement les performances à une tâche complexe réelle comme la conduite automobile.

#### **4.4 Training avec un simulateur de conduite**

La Réalité Virtuelle (RV) représente une simulation informatique interactive immersive, visuelle, sonore et/ou haptique, d'environnements réels ou imaginaires. Le simulateur de conduite fait donc partie des outils utilisés en RV et, de ce fait, a bénéficié du véritable essor qu'a connu la RV dans le monde de la recherche. En effet, la RV est de plus en plus reconnue par les cliniciens et les chercheurs, qui la considèrent comme un véritable outil pour l'évaluation et la rééducation des processus cognitifs (Schultheis & Rizzo, 2001). Ces auteurs listent les avantages liés à la RV dans ces deux champs d'application (évaluation et rééducation) : environnement plus réaliste, contrôle de la présentation des stimuli et de la mesure de la réponse, évaluation sécurisée lors de situations dangereuses, amélioration de la généralisation de l'apprentissage, amélioration de la standardisation des protocoles de rééducation, amélioration de la motivation des participants.

Une simulation de conduite peut être réalisée de plusieurs façons : il peut s'agir d'un ordinateur équipé d'un volant et d'un pédalier permettant de simuler une route virtuelle sur l'écran de l'ordinateur, ou d'une cabine de conduite similaire au vrai poste de conduite d'une voiture, équipée d'un volant, d'un tableau de bord, d'un pédalier, d'un levier de vitesse, d'un frein à main, etc, permettant de simuler l'activité de conduite sur plusieurs écrans d'ordinateur représentant une large scène visuelle. La première façon de simuler la tâche de conduite semble moins réaliste étant donné que le participant est face à un ordinateur, contrairement à la deuxième dans laquelle il rentre à l'intérieur d'un habitacle qui se rapproche au plus près de l'intérieur d'un vrai véhicule. De ce fait, nous parlerons de simulateur « de table » pour les études qui ont utilisé le premier type de simulation et de simulateur de conduite lorsqu'il s'agissait d'un vrai poste de conduite.

Lengenfelder et al. (2002) ont mené une étude pilote sur un petit échantillon de patients traumatisés crâniens (N=3) pour observer le bénéfice potentiel offert par la RV et étudier la relation existante entre l'attention divisée et la performance de conduite automobile. Ils ont utilisé un simulateur de conduite « de table », leur permettant d'enregistrer le comportement de conduite des patients en simple tâche (tâche de conduite seule) puis en double tâche (tâche de lecture en plus de la conduite). Les résultats ont montré que les patients faisaient plus d'erreurs en double tâche comparés à un groupe de sujets sains appariés

(N=3). De plus, les auteurs observent une augmentation de la vitesse de conduite lors de la double tâche comparée à la simple tâche, pour les deux groupes de participants. Ils concluent alors que lorsqu'un conducteur doit diviser son attention entre plusieurs tâches, il dispose de moins de ressource attentionnelle pour le contrôle et l'adaptation de la vitesse kilométrique. Les auteurs suggèrent ainsi, que la RV est un moyen unique pour pouvoir évaluer une fonction cognitive particulière (attention divisée par exemple) et son impact en vie quotidienne (conduite par exemple), contrairement aux tests neuropsychologiques traditionnels.

Cette étude s'est donc appropriée la RV dans un but d'évaluation du comportement cognitif chez des patients avec traumatisme crânien. D'autres auteurs l'ont ensuite utilisé dans une approche plus rééducative (Rizzo, Schultheis, Kerns, & Mateer, 2004; Rose, Brooks, & Rizzo, 2005). Rizzo et al. (2004) montrent l'intérêt de la RV dans le champ spécifique de la neuropsychologie. En effet, la neuropsychologie s'efforce d'utiliser des mesures sensibles et valides pour évaluer les processus cognitifs indépendamment les uns des autres et ceci dans un contexte qui soit le plus proche possible des activités naturelles. La RV s'est donc imposée comme une évidence dans ce champ d'application. La revue de littérature de Rose et al. (2005) confirme bien l'engouement des neuropsychologues pour la RV puisqu'elle contient une centaine d'articles relatifs à cet outil. Les auteurs abordent deux points importants concernant la RV : (1) elle peut être utilisée de manière **spécifique** pour entraîner plusieurs types de processus cognitifs : l'attention, les fonctions exécutives, la mémoire, etc. ; (2) elle peut être utilisée de manière **générale** auprès de population avec lésion cérébrale dans un but de rééducation des activités de vie quotidienne, comme par exemple : réapprendre à traverser une rue, prendre les transports en commun, préparer à manger (Christiansen, et al., 1998), s'orienter dans l'espace (pour des personnes ayant la maladie d'Alzheimer) et évidemment conduire un véhicule. Selon Rose et al. (2005) le premier point permettrait une rééducation basée sur les déficits (restauration de la fonction déficitaire) alors que le deuxième point permettrait une rééducation basée sur le handicap (limitations en vie quotidienne dues à la lésion).

Cependant, l'interprétation des résultats obtenus lors d'une expérimentation avec RV doit être faite avec vigilance. En effet, du fait de l'implication multiple des processus cognitifs dans les activités de vie quotidienne, il devient difficile lors d'un échec de connaître le mécanisme cognitif déficitaire sous-jacent. Selon Juillerat Van der Linden (2008), les outils de simulation devraient répondre à un double critère de validité écologique et de mise en perspective théorique, pour permettre de formuler des hypothèses quant aux processus déficitaires. Autrement dit, il faudrait prendre en considération un modèle cognitif large impliquant la neuropsychologie de la vie quotidienne et donc les facteurs autres que cognitifs, comme les facteurs émotionnels et motivationnels par exemple.

Sur un plan expérimental, les chercheurs s'intéressant à la problématique de la rééducation de la compétence de conduite se sont tournés vers le simulateur de conduite car il apporte trois avantages principaux (Chapon & Chalme, 2006) :

- La reproductibilité des situations expérimentales : un scénario de conduite établi au préalable permet à chaque participant de conduire dans le même environnement routier (route, trafic, etc.).
- L'observation des comportements de conduite lors de scénarios spécifiques : certaines situations de conduite sont difficilement analysables en situation réelle du fait de leur faible occurrence.
- La sécurité du contexte expérimental : la simulation permet d'étudier une situation considérée comme « à risque » sur route réelle sans que le participant soit pour autant en danger.

Enfin, l'avantage principal lié au simulateur de conduite et qui est plutôt inhérent à la RV, est le caractère immersif de cet outil. En effet, une des grandes caractéristiques de la RV, et donc du simulateur de conduite, est le fait que le sujet soit en totale immersion. En d'autres termes, le sujet est captivé et plongé dans un environnement qui lui est familier, la conduite automobile, à des fins d'entraînement. L'état immersif induit par la simulation permet entre autre d'inculquer des réflexes à l'utilisateur qui pourront lui servir en situation réelle de conduite. De plus, la simulation de conduite permet de mettre en œuvre des habiletés acquises. Cependant, le degré d'immersion est variable d'un individu à l'autre.

Malheureusement, le simulateur de conduite présente aussi quelques inconvénients, le « mal du simulateur » en est le principal. Ce syndrome est souvent assimilé au mal des transports, à tort car il touche une population bien plus large et il n'y a pas forcément de corrélation entre les deux (Brooks, et al., 2010). Cependant, il s'agit des mêmes symptômes : nausées, vomissements, vertiges, sueurs froides, mal de tête, désorientation. Ainsi, le mal du simulateur peut limiter l'efficacité d'un training. Les caractéristiques individuelles (âge, sexe, pathologie, instabilité posturale...) jouent un rôle clé pour déterminer si un participant va être malade ou non (Brooks, et al., 2010). Par exemple, le mal du simulateur ne s'exprime pas de la même façon pour toutes les populations. Il serait plus important chez les sujets sains comparativement à des patients avec lésions cérébrales (Schultheis, Rebimbas, Mourant, & Millis, 2007), ainsi que chez les personnes âgées comparées aux sujets jeunes (Brooks, et al., 2010; Roenker, et al., 2003).

Les premières études qui se sont intéressées à l'entraînement sur simulateur de conduite ont utilisé cet outil comme support de démonstration et non pas comme outil permettant d'entraîner des processus cognitifs. Ainsi, les trainings étaient de courte durée, comprenant généralement une ou deux sessions, sous forme de visionnage de film. En d'autres termes, le participant n'interagissait pas avec le simulateur de conduite : il ne conduisait pas, était passif et visionnait des films de conduite sur l'écran du simulateur.

Dans cette lignée, Jacobs et al. (1997) ont comparé les performances de trois groupes de **personnes âgées** de plus de 55 ans (N=21) lors d'une évaluation sur route réelle qui s'est déroulée un mois après un training sur simulateur de conduite. Le premier groupe (expérimental) bénéficiait d'un entraînement sur simulateur de conduite : il visionnait quatre films sur simulateur (techniques pour améliorer sa propre conduite) et conduisait le simulateur pendant deux heures. Le deuxième groupe visionnait deux films (toujours sur les mêmes techniques) mais sur écran de projection dans une classe, enfin le troisième groupe ne bénéficiait d'aucun type de training. L'évaluation sur route réelle représentait l'unique mesure outcome et était effectuée par un ergothérapeute qui cotait le comportement de conduite des personnes âgées avec une grille caractérisant la position sur la voie, la réaction de freinage, les virages, les manœuvres, le jugement, etc. Les résultats ont montré que le degré de précision obtenu au test sur route était significativement supérieur pour le groupe ayant bénéficié du training sur simulateur comparé aux deux autres groupes. Les auteurs n'ont pas évalué le niveau des personnes âgées avant de commencer l'entraînement, il n'y a donc pas de baseline, ce qui rend l'interprétation des résultats difficile. Par conséquent, les auteurs ne sont pas en mesure de quantifier l'amélioration due au training sur simulateur, et peuvent simplement statuer sur le fait qu'un groupe est plus performant qu'un autre à un test de conduite réelle, or les groupes n'avaient peut-être pas le même niveau de départ (avant le training).

L'étude de Roenker et al. (2003), pour qui le centre d'intérêt n'était pas le simulateur de conduite, a pourtant démontré l'efficacité de cet outil. Les auteurs avaient pour objectif d'améliorer les performances de conduite des **personnes âgées** en entraînant leur vitesse de traitement de l'information avec l'UFOV (voir paragraphe « training avec l'UFOV » p. 97).



Les patients du groupe contrôle (N=22) bénéficiaient quant à eux d'un entraînement sur simulateur de conduite (de courte durée). Les auteurs n'ont pas pu valider leur hypothèse selon laquelle l'UFOV permettrait d'améliorer significativement les performances à un test sur route, par contre, une amélioration a été démontrée pour le groupe qui a bénéficié du training sur simulateur de conduite (hypothèse non formulée a priori). Cependant, il ne s'agissait pas réellement d'une pratique de conduite sur simulateur mais plutôt d'une rééducation éducationnelle au cours de laquelle un instructeur parlait de la sécurité routière et faisait de la prévention des accidents à l'aide de la simulation. Malgré tout, les résultats de cette étude sont plus robustes que les précédents (Jacobs et al, 1997) car les auteurs ont réalisé une évaluation pré- et post-training permettant de mettre en évidence une amélioration.

Akinwuntan et al. (2005b) font partie des premiers chercheurs à avoir utilisé un simulateur de conduite (avec cabine) dans une démarche rééducative et avec pour objectif d'améliorer l'efficacité cognitive des conducteurs. La population ciblée était des patients avec **accident vasculaire cérébral** (N=83). Ils ont mis au point un programme de rééducation cognitive intense d'une durée de cinq semaines, à raison de trois sessions d'une heure par semaine, soit quinze heures de training au total. Les patients débutaient par une évaluation pré-training très complète puisqu'elle comprenait une évaluation neuropsychologique, une évaluation sur route réelle et une évaluation sur simulateur de conduite. A l'issue des cinq semaines de training, ils étaient à nouveau évalués. L'évaluation post-training était identique aux trois mesures de la baseline. L'évaluation neuropsychologique comprenait le test UFOV et des sub-tests de la batterie Stroke Driver Screening Assessment (cf. section de chapitre « évaluation des performances de conduite après un traumatisme crânien », p. 59). L'évaluation de conduite sur route était réalisée par un expert du CARA en Belgique à l'aide de la grille TRIP, qui est un test valide (Akinwuntan, et al., 2005a) et fiable (Akinwuntan, et al., 2003) permettant d'obtenir une décision finale en trois classes : apte, inapte, ou temporairement inapte à la conduite. Le test sur route était considéré comme la mesure outcome principale. Deux groupes de patients ont été constitués, un groupe expérimental bénéficiant d'un training cognitif sur simulateur de conduite et un groupe contrôle qui bénéficiait d'un autre type de training. Le groupe expérimental était entraîné sur simulateur de conduite lors de divers scénarios de simulation s'intéressant au contrôle de la vitesse kilométrique, à la reconnaissance des panneaux routiers, à la position de la voiture par rapport à la ligne ou encore à la réaction du conducteur face à une situation imprévue avec différentes complexités. Le groupe contrôle, quant à lui, bénéficiait d'un training cognitif effectué à l'aide de jeux commercialisés faisant appel aux processus cognitifs (résolution de problème, habiletés visuo-spatiales, mémoire non-verbale, planification, prise de décision...) ou en rapport à l'activité de conduite (reconnaissance de panneaux routier, traçage d'un trajet routier). Les auteurs ont montré que les deux groupes se sont améliorés de manière comparable aux tests neuropsychologiques ainsi qu'au test sur route. Ils notent tout de même que l'amélioration observée sur route pour le groupe entraîné sur simulateur tend à être significativement supérieure à celle observée pour le groupe contrôle. La différence la plus importante réside dans l'évaluation sur simulateur de conduite, lors de laquelle seul le groupe expérimental s'est amélioré entre le pré- et le post-test. De plus, l'évaluation sur route était réitérée six mois plus tard et les résultats ont montré que les personnes entraînées sur simulateur étaient plus nombreuses (73%) à avoir réussi le test que les personnes du groupe contrôle (42%). Les auteurs concluent enfin que, le simulateur de conduite est un bon outil pour améliorer les habiletés de conduite (testée sur simulateur et sur route réelle) et que le bénéfice obtenu subsiste même six mois après le training (contrairement à un autre type de training plus traditionnel).

Quelques années plus tard, Devos et al. (2009) ont repris les analyses de l'étude d'Akinwuntan et al. (2005b) en ajoutant quelques précisions sur les résultats obtenus à la mesure d'évaluation de la performance de conduite au test sur route. L'objectif était de préciser les variables explicatives de l'amélioration sur route après l'entraînement des patients avec accident vasculaire cérébral (N=83) et d'observer d'éventuelles différenciations entre les deux types de training en fonction des sous-scores de la grille d'observation utilisée. De plus, Devos et al. (2009) détaillent le training sur simulateur de conduite utilisé par Akinwuntan et al. (non précisé dans l'étude de 2005b). Le groupe expérimental était entraîné sur simulateur de conduite avec six scénarios de conduite répétés deux fois, une première fois en condition « normale » et une deuxième fois en condition de double tâche. Les scénarios développés s'intéressaient à six habiletés de conduite spécifiques : positionnement de la voiture sur la route, adaptation de la vitesse, anticipation, dépassement de voiture, habiletés perceptives et perception du risque, et jugement. L'entraînement focalisait ainsi les habiletés de conduite (approche fonctionnelle) avec une dimension attentionnelle en plus (approche restauratrice) étant donné que l'attention divisée jouait un grand rôle dans le programme. L'évaluation sur route était mesurée par la grille TRIP (De Raedt, 2000) qui permettait de quantifier les erreurs et les catégoriser. Akinwuntan et al. (2005b) avaient montré une amélioration pour les deux groupes de training au score TRIP entre l'évaluation pré et post ; ainsi qu'un score qui restait stable entre l'évaluation post et le follow-up (à six mois) pour le groupe « simulateur », alors que ce même score se dégradait pour le groupe contrôle. Selon Devos et al. (2009), la différence entre les deux groupes se situerait principalement au niveau des items visuo-intégratifs et des items relatifs au tourne-à-gauche. Les auteurs avaient regroupé les différentes échelles de la grille TRIP en quatre catégories d'items : groupe opérationnel, groupe tactique, groupe visuo-intégratif et groupe mixte. Ainsi, les patients se seraient améliorés à tous les items du troisième groupe visuo-intégratif : l'anticipation et la perception des signaux routiers, le comportement visuel et la communication, et la prise en considération du trafic. De plus, un item du groupe mixte aurait vu son score augmenté entre le pré et le post-test, il s'agit du tourne-à-gauche. Ils concluent que le simulateur serait un outil privilégié pour permettre une meilleure perception et intégration des informations visuelles.

Cinq ans après la première expérimentation d'Akinwuntan et al. (2005b), cette même équipe de recherche a voulu vérifier si le bénéfice obtenu par les deux groupes de training résistait dans le temps (Devos, et al., In Press). Ainsi, les mesures qui avaient été utilisées en tant que baseline (évaluation neuropsychologique, sur simulateur de conduite et sur route réelle) ont à nouveau été administrées en follow-up (à cinq ans) auprès des mêmes patients avec accident vasculaire cérébral qui ont bien voulu participer à nouveau à l'étude (N=61). Les résultats du test sur route ont montré que la différence obtenue en 2005 entre les deux groupes de training lors de l'évaluation follow-up à 6 mois, n'existait plus cinq ans après. Les auteurs précisent tout de même que le pourcentage de patients ayant été jugés aptes à la conduite parmi le groupe expérimental était toujours supérieur au pourcentage de conducteurs jugés aptes dans le groupe contrôle, mais cette différence n'était pas statistiquement significative. Ils concluent alors qu'un training réalisé sur simulateur de conduite offre de meilleurs bénéfices qu'une rééducation cognitive classique, avec des effets durant jusqu'à six mois après le programme d'entraînement. En revanche, cet effet s'efface avec le temps et n'est pas maintenu cinq ans après le training.

Pour conclure, les études ayant utilisé un simulateur de conduite pour améliorer indirectement la performance de conduite, ont utilisé des méthodologies différentes. Concernant les études pionnières, il ne s'agissait pas de simulation de conduite au sens strict du terme dans la mesure où le participant n'interagissait pas avec l'outil. De plus, l'entraînement était dans la plupart des cas restreint (une ou deux sessions) et réalisé sur un

simulateur dit « de table ». Ces études concerneraient alors plutôt le training éducationnel dans lequel un instructeur dispense des cours sur la sécurité routière. Concernant les études plus récentes, elles ont combiné deux types d'approche : l'approche restauratrice dans la mesure où l'attention divisée était, entre autre, stimulée au cours des sessions, et l'approche fonctionnelle dans la mesure où des habiletés spécifiques de la conduite étaient entraînées, comme le maintien du véhicule sur la voie, l'adaptation de la vitesse ou le respect de la signalisation.

Cette combinaison des approches rééducatives effectuée sur un simulateur de conduite semble pertinente auprès de patients avec accident vasculaire cérébral. En effet, elle permettrait d'améliorer les performances de conduite sur route réelle : l'effet bénéfique du training s'observerait directement après l'entraînement, resterait stable à six mois et diminuerait après cinq ans.

#### 4.5 Training moteur avec un véhicule électrique motorisé

Certaines études ayant pour objectif l'amélioration des performances de conduite automobile ont réalisé des programmes de training centrés sur un entraînement moteur. L'approche rééducative était donc principalement fonctionnelle, visant l'amélioration des fonctions psycho-motrices.

Kewman et al. (1985) sont parmi les premiers chercheurs à avoir utilisé un véhicule électrique motorisé (nommé AMIGO) dans une optique de rééducation. Il s'agissait d'un petit véhicule semblable à un fauteuil roulant électrique qui a été spécifiquement modifié avec l'ajout d'un volant et d'un pédalier. Ce véhicule a été utilisé dans l'enceinte d'un hôpital à l'intérieur du bâtiment. Deux groupes de **patients traumatisés crâniens** (N=24) ont été constitués, un groupe expérimental bénéficiant d'un programme de training « intégral » qui consistait en un entraînement moteur avec des exercices spécifiques et un groupe contrôle bénéficiant d'un training « partiel » : entraînement moteur sans exercice. Le training intégral était organisé en huit sessions de deux heures, chaque session comprenant sept exercices : conduite de AMIGO en ligne droite, en serpentin, en serpentin plus une tâche visuelle, en serpentin plus une tâche auditive, en serpentin plus une double tâche (visuelle et auditive), conduite en « S » et enfin conduite en « 8 ». Les exercices exigeaient donc des capacités visuo-motrices et attentionnelles. Pendant le training, le temps de réalisation de la tâche et le nombre de cônes renversés étaient comptabilisés. Le training partiel du deuxième groupe consistait à conduire AMIGO librement, sans exercice et sans recevoir d'instructions spécifiques. Cependant, les participants du groupe contrôle bénéficiaient en plus de quelques cours sur les bonnes pratiques en conduite automobile. L'évaluation pré- et post-training était une évaluation classique de la performance de conduite sur route réelle (15-25 minutes) avec un moniteur d'auto-école qui prenait note de l'habileté des patients à maintenir leur position dans la voie, à prendre les virages avec précision et à observer les panneaux routiers spécifiques. Il comptabilisait aussi le nombre d'erreurs majeures de sécurité commises. Les résultats ont montré en premier lieu une amélioration des performances du groupe expérimental durant le training, les patients diminuant leur temps de réponse et le nombre d'erreurs (renversement de cône) entre les premières sessions et les dernières. Concernant l'évaluation sur route réelle, seul le groupe expérimental s'est amélioré entre le pré et le post-test. Les auteurs interprètent les résultats en faveur de l'implication de la dimension attentionnelle dans un training à l'origine moteur. En effet, un entraînement moteur seul ne permettrait pas d'améliorer la compétence de conduite sur route, laissant suggérer que l'effet bénéfique du training est principalement dû aux exercices spécifiques mettant en jeu les processus attentionnels, et notamment l'attention divisée.

En définitive, cette recherche ne parvient pas à prouver l'unique responsabilité d'un training moteur dans l'amélioration de la compétence de conduite dans la mesure où ce type de training n'a pas eu d'effet bénéfique sur les performances au test sur route. En revanche, un même training fonctionnel lorsqu'il intègre une dimension attentionnelle.

#### 4.6 Training sur route réelle

L'entraînement le plus écologique qui se rapproche le plus d'une situation réelle, est sans nul doute le training effectué directement sur route. Cependant, ce type de training est difficile à mettre en place par le manque de contrôle qu'il engendre (contraintes dues au trafic, aux situations imprévisibles...). Le haut niveau de validité écologique du training sur route signifie t-il pour autant qu'il est le plus efficace ? Plusieurs études ont tenté de le démontrer grâce à des entraînements de courte durée auprès de **personnes âgées**.

Pendant longtemps, les études concernant la rééducation utilisaient un training unique, on parlait alors d'intervention uni-modale. Selon Korner-Bitensky et al. (Korner-Bitensky, Kua, von Zweck, & Van Benthem, 2009), de plus en plus d'études utiliseraient actuellement des approches combinant deux types de training : par exemple, un training éducationnel sous forme de cours (class education training) avec un training plus appliqué sur route (on-road training).

Marottoli et al. (Marottoli, et al., 2007b) ont réalisé une étude auprès de 126 personnes âgées (de plus de 70 ans) en utilisant cette méthodologie. Le groupe expérimental bénéficiait ainsi de deux trainings :

- Training éducationnel : deux sessions de quatre heures dans une classe avec un programme abordant plusieurs thématiques liées à la conduite automobile (risque, habitudes visuelles, communication, ajustement de la vitesse, distance de sécurité...).
- Training sur route : deux sessions d'une heure sur route s'intéressant à l'ajustement du rétroviseur, le contrôle de la vitesse, la distance de sécurité inter-véhicule, la distance d'arrêt, la position sur la voie, les tourne-à-gauche, les intersections, le respect de la signalisation, la communication...

Le groupe contrôle assistait quant à lui à des modules d'enseignement sur la sécurité en général : sécurité routière, sécurité domestique et sécurité environnementale. Les mesures constituant la baseline étaient les suivantes : un test des connaissances spécifique à la conduite automobile et un test sur route réelle (analysé à l'aide d'une grille composée de 36 items). Huit semaines plus tard, les mêmes mesures étaient à nouveau enregistrées. Les résultats ont montré que le groupe expérimental s'était beaucoup plus amélioré que le groupe contrôle et ceci dans les deux types d'évaluation. Les auteurs concluent qu'un entraînement sur route, couplé à un entraînement éducationnel sur l'activité de conduite, permettrait d'améliorer la performance de conduite des personnes âgées et de conserver plus longtemps une conduite sécuritaire.

Bédard et al. (2008) ont utilisé une méthodologie assez similaire en couplant les deux types de training afin d'améliorer la performance de conduite de 75 personnes âgées (de plus de 65 ans). Le groupe expérimental bénéficiait des trainings suivants :

- Training éducationnel : deux sessions de trois à quatre heures dans une classe avec un programme d'éducation utilisant le 55-Alive / Mature Driving Program de l'Association Américaine d'Automobile (AAA).
- Training sur route : deux sessions de 30-40 minutes sur route avec un moniteur d'auto-école qui focalisait son attention sur les concepts vus en classe.

Le groupe contrôle ne bénéficiait d'aucun type de training. Toutes les personnes âgées étaient évaluées d'une part sur leur connaissance des règles de sécurité routière via un questionnaire à choix multiple, et d'autre part lors d'un test sur route réalisé par un inspecteur certifié du permis de conduire qui utilisait la procédure standard d'évaluation (comptabilisation des erreurs de conduite). Les résultats observés sont similaires à ceux de Marottoli et al., à savoir : une amélioration significative au questionnaire de connaissance sur la conduite et une diminution du nombre d'erreurs de conduite au test sur route pour le groupe expérimental. Cependant, Bédard et al. apportent une indication supplémentaire : le groupe ayant bénéficié des deux trainings présenteraient bien moins d'erreurs lors des actions de conduite liées aux déplacements sur la chaussée. Autrement dit, le training sur route aurait permis une meilleure maîtrise de la position du véhicule de la part des personnes âgées. Enfin, les auteurs interprètent leurs résultats à la lumière du modèle de conduite de Michon. Selon les auteurs, la combinaison des trainings utilisés permettrait d'améliorer seulement les niveaux stratégique et tactique de la conduite. Ils expliquent que la composante éducationnelle serait directement reliée au niveau stratégique (comme par exemple comprendre l'impact de la prise de médicaments sur la compétence de conduite), alors que le training sur route serait certainement lié au niveau tactique (comme l'adaptation de la vitesse kilométrique). Cependant, leur programme d'entraînement n'a eu aucun effet sur le niveau opérationnel de la conduite, comme par exemple le temps de réaction en situation de freinage.

Pour résumer, ces études d'orientation fonctionnelle obtiennent des résultats positifs et permettent de conclure au bienfait d'un training sur route. Un entraînement sur route couplé à un entraînement éducationnel, semble représenter une combinaison pertinente pour améliorer la sécurité et la performance de conduite des personnes âgées. Cependant, ce type d'entraînement n'a jamais été utilisé de manière isolé, ne permettant pas d'attribuer l'intégralité du bénéfice observé à la pratique de la conduite sur route.

#### 4.7 Intervention éducationnelle

Certains chercheurs ont mis en place des entraînements centrés sur la pédagogie liée à la sécurité routière. Ils parlent alors à juste titre d'« intervention » plutôt que de training. De plus, ces études d'intervention se différencient des études de training par le nombre de sessions incluses dans le programme. Les études utilisant des programmes d'entraînement éducationnel sont de courte durée et comprennent généralement deux sessions (interventions ponctuelles), alors que celles utilisant des programmes de training à part entière s'étendent sur plusieurs semaines, voir plusieurs mois. Enfin, l'intervention éducationnelle est une méthode qui a surtout été employée auprès d'une population de personnes âgées et beaucoup moins pour des patients cérébro-lésés.

À la différence du paragraphe précédent, les études présentées ici portent sur l'utilisation d'une intervention éducationnelle comme training unique, sans combinaison avec un autre type de training.

Owsley et al. (Owsley, Stalvey, & Phillips, 2003) se sont intéressés à l'efficacité d'une intervention éducationnelle sur l'auto-régulation en conduite des **personnes âgées** (N=365). La population était ciblée dans la mesure où les personnes âgées devaient toutes être âgées de plus de 60 ans, avoir un trouble visuel (acuité visuelle ou restriction de l'UFOV) et avoir été impliqué dans un accident routier durant l'année qui précédait l'expérimentation. Deux groupes étaient constitués, un groupe expérimental bénéficiant de deux séances d'intervention éducationnelle et un groupe contrôle sans programme d'entraînement. L'objectif des auteurs

était d'utiliser la discussion comme moyen permettant la prise de conscience d'un danger et donc l'auto-régulation du comportement. La première session d'intervention était composée de deux parties et durait deux heures : les participants discutaient dans un premier temps de l'impact que peuvent avoir des troubles visuels sur l'aptitude à la conduite et étaient dans un deuxième temps confrontés à des diapositives mettant en scène plusieurs situations de conduite dangereuses. La tâche des personnes âgées consistait à identifier le danger puis à proposer une stratégie pour l'éviter. Un mois après, une deuxième session d'une heure était effectuée, ayant pour unique but la consolidation de la réflexion occasionnée à la suite de la première session (nommée booster). Ainsi, les auteurs ont pu lister au cours de cette deuxième discussion les progrès comportementaux des participants. L'évaluation pré et post-intervention était effectuée par téléphone (avant la première session et six mois après la deuxième) et consistait à répondre à des questionnaires, permettant de relever plusieurs indices: les pratiques d'auto-régulation, les attitudes en conduite, les situations de conduite évitées, la perception de ses propres difficultés de conduite et de ses troubles visuels. Les résultats ont montré qu'après les deux interventions, le groupe expérimental était plus à même que le groupe contrôle d'admettre une baisse d'efficacité de leur vision et surtout la répercussion de cette baisse sur la conduite. Le programme a aussi permis de promouvoir l'auto-régulation des comportements en conduite, comme l'évitement de situation dangereuse ou la réduction du temps de conduite. Cette étude démontre donc qu'il est possible de changer la perception que les personnes âgées peuvent avoir sur leur acuité visuelle et l'implication que cela peut représenter en conduite automobile (changement des habitudes de conduite).

On peut supposer que cette étude vise à améliorer le niveau stratégique de la conduite, dans la mesure où il s'agit d'une prise de conscience et donc de modifications des habitudes de conduite, comme par exemple réduire le temps de conduite la nuit car la visibilité est moins bonne.

La conscience du risque peut être modifiée, certains comportements ou choix de conduite aussi, mais qu'en est-il de la performance de conduite ? En est-elle améliorée ? L'étude d'Owsley et al. ne comporte pas d'évaluation sur route réelle, ne permettant pas de répondre à cette question. Cependant, les études citées dans le paragraphe portant sur la rééducation avec entraînement sur route (Marottoli, et al., 2007; Bédard et al., 2008), combinant une intervention éducative à leur training sur route, ont montré que les performances sur route des personnes âgées du groupe expérimental s'étaient plus améliorées que le groupe contrôle (sans entraînement). Par conséquent, le fait que les personnes âgées s'efforcent à réduire leur temps de conduite, évitent de conduire lorsque les conditions météorologiques sont dégradées (pluie, neige...), ou de conduire la nuit, contribuerait à une conduite plus sécuritaire.

#### 4.8 Training physique

Le dernier type d'entraînement abordé concerne une approche bien différente des précédentes puisqu'il s'agit d'une intervention ciblée sur la kinésithérapie.

McCoy et al. (1993) font partie des premiers chercheurs à s'être intéressés au training physique avec un objectif d'amélioration de la sécurité routière de **personnes âgées** de 65 à 88 ans (N=105). Les personnes âgées bénéficiaient d'une intervention kinésithérapique et étaient évaluées au début de l'entraînement et un an après lors d'un test sur route effectué par un inspecteur du permis de conduire. Les résultats ont montré une amélioration au test sur route. Par conséquent, un training se basant sur des exercices physiques peut améliorer la performance de conduite.

Plus de dix ans après, Marottoli et al. (Marottoli, et al., 2007a) ont utilisé un training physique multi-composantes qui ciblait les habiletés physiques pertinentes pour la sécurité routière, avec pour objectif d'améliorer la performance de conduite des **personnes âgées** de plus de 70 ans (N=178). Un groupe expérimental a bénéficié de trois mois de rééducation dispensée par un kinésithérapeute. Le professionnel rendait visite une fois par semaine au participant, qui devait effectuer les exercices de manière quotidienne. Le programme d'entraînement était constitué d'exercices ciblant trois domaines : (1) le conditionnement de l'axiale et des extrémités (flexion et extension des cervicales, des épaules, des genoux et des chevilles ; rotation du tronc et de l'axiale), (2) la coordination / dextérité des extrémités supérieures et la puissance des mains, et (3) les anomalies de la démarche et des pieds. Chaque exercice durait quinze minutes, les participants âgés devaient les effectuer seuls, tous les jours pendant douze semaines et une fois par semaine avec le kinésithérapeute. Le groupe contrôle, quant à lui, ne bénéficiait d'aucun entraînement. Les participants étaient évalués sur route réelle, avant et après le training physique. Les performances étaient mesurées par un ergothérapeute à l'aide d'un questionnaire à 36 items et par un moniteur d'auto-école qui donnait une réponse finale sur une échelle en quatre points : pas de problème de conduite, problèmes mineurs, problèmes modérés et problèmes majeurs. Les résultats ont montré que le groupe expérimental (training physique) n'améliorait pas forcément ses performances de conduite entre le pré et post-test, mais maintenait le niveau baseline trois mois après l'intervention, alors que l'on observait chez le groupe contrôle (sans training) un déclin des performances à trois mois. Selon les auteurs, la compétence de conduite diminuerait au cours du vieillissement normal mais pourrait se stabiliser grâce à un entraînement kinésithérapique. Ils concluent cependant, que pour avoir une vraie valeur ajoutée à cette recherche, il faudrait s'intéresser au bénéfice que pourrait avoir une telle intervention sur le risque d'accident de la route. On est donc en mesure de se demander si le transfert de l'apprentissage obtenu sur route peut avoir un impact bénéfique sur l'épidémiologie des accidents.

### **Synthèse sur la rééducation de la compétence de conduite**

Il existe un large choix de techniques permettant d'entraîner la compétence de conduite automobile. La question qui se pose alors est de savoir quelle est la meilleure méthode. Quelle méthode permettra d'améliorer la connaissance routière, les aptitudes sur route, ou bien encore de diminuer l'accidentologie routière ?

Chacune des techniques utilisées a pu aboutir à un bénéfice différent : (1) un training perceptif permet d'améliorer la performance de conduite sur route réelle de patients cérébro-lésés lorsqu'il s'agit de tests papier-crayon, contrairement à l'utilisation d'un outil informatique (Dynavision), (2) un training avec l'UFOV permet d'améliorer la performance de conduite sur route seulement lorsqu'il s'adresse à des personnes âgées, et non pour des patients avec accident vasculaire cérébral, (3) un training attentionnel sur ordinateur serait bénéfique pour des personnes âgées, permettant d'améliorer leur capacité de conduite sur simulateur, (4) un training sur simulateur de conduite permettrait d'améliorer la compétence de conduite sur simulateur et sur route des personnes âgées et des patients avec accident vasculaire cérébral, (5) un training avec un petit véhicule électrique ne fonctionne que s'il inclut une dimension attentionnelle aux exercices de conduite et permet d'améliorer le score de patients traumatisés crâniens à un test sur route, (6) un training sur route, combiné à un training éducationnel, permet d'améliorer la sécurité de conduite sur route des personnes âgées, (7) une intervention éducationnelle aboutit à une meilleure perception et conscience du risque en conduite automobile des personnes âgées, et (8) un training physique semble utile

pour améliorer les conditions de conduite des personnes âgées et ainsi améliorer leurs performances de conduite.

Au regard de ces données de littérature, le simulateur de conduite apparaît particulièrement pertinent pour l'entraînement de la compétence de conduite. Il semble être plus efficace que d'autres types de training (comme par exemple l'UFOV, Roenker, et al., 2003), et ce pour plusieurs raisons. D'une part parce que son effet ne se limite pas à une seule population (Akinwuntan, et al., 2005b; Roenker, et al., 2003), d'autre part il semble faciliter le transfert, et enfin l'effet perdure à six mois (pour des patients avec accident vasculaire cérébral, Akinwuntan, et al., 2005b).

Pour résumer, la combinaison de deux trainings (éducatif et sur route) ou la combinaison de deux approches (restauratrice et fonctionnelle lors d'un training unique sur simulateur de conduite) semble être efficace et améliorer respectivement la compétence de conduite des personnes âgées et des patients cérébro-lésés. En revanche, les trainings basés sur un fondement purement fonctionnel, ne permettraient pas d'améliorer la performance des participants à un test sur route. En effet, le training avec un véhicule motorisé ne fonctionne pas, excepté lorsque les exercices utilisés endossent une dimension cognitive (attentionnelle dans l'étude de Kewman et al., 1985). De même, un training purement cognitif (sans inclure le contexte de la conduite), avec utilisation de l'UFOV par exemple, ne permettrait pas non plus d'obtenir l'amélioration escomptée sur route réelle (pour des patients cérébro-lésés).

Dans le cadre d'une rééducation des habiletés de conduite (approche fonctionnelle), il semble donc important de ne pas négliger le type de population visée lors de la construction du programme d'entraînement. En effet, un training conçu pour un groupe de patients cérébro-lésés n'aura peut-être pas les mêmes exigences cognitives qu'un training conçu pour une population sans lésion cérébrale, lorsqu'il s'agit d'une rééducation visant l'amélioration de la compétence de conduite automobile. Cependant, cette distinction entre les populations est moins évidente lorsque les chercheurs optent pour une rééducation à visée restauratrice, et plus précisément attentionnelle. Ainsi, un même type d'entraînement attentionnel pourrait être bénéfique à deux populations différentes.



Tableau 4. Récapitulatif des études portant sur la rééducation de la compétence de conduite (approche fonctionnelle et/ou restauratrice)

<i>Etude</i>	<i>Population</i>	<i>Training</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Résultats</i>
<b>TRAINING VISUO-PERCEPTIF OU VISUEL</b>				
<b>Sivak et al. (1984)</b>	Cérébro-lésés (N=8)	- 8 à 10h (5 à 9 sessions) - Tests papier-crayon entraînant les processus perceptifs : scanning visuel, mouvement du regard, perception, discrimination spatiale, différenciation figure-fond, imagerie visuelle, capacités attentionnelles...	- Tests neuropsychologiques standardisés évaluant les processus visuo-perceptifs - Évaluation sur route réelle - Pré-test et post-test	- Amélioration aux tests perceptifs - Amélioration au test sur route - Corrélation entre le degré d'amélioration des tests perceptifs et le degré d'amélioration du test sur route
<b>Crotty &amp; George (2009)</b>	AVC (N=26)	- 12h - 6 semaines, 3 sessions de 40 minutes par semaine - Outil informatisé : Dynavision - Groupe expérimental : <i>training</i> Dynavision - Groupe contrôle : pas de <i>training</i>	- <i>Baseline</i> : TR informatisé, tâche de balayage visuel - <i>Outcomes</i> : <i>baseline</i> + test de conduite sur route	- Pas d'amélioration aux tests visuels - Pas de différence entre les groupes à l'évaluation sur route
<b>TRAINING AVEC UFOV</b>				
<b>Mazer et al. (2003)</b>	AVC (N=97)	- 10 à 20h - 20 sessions de 30 à 60 min. - 2 à 4 sessions par semaine - Groupe expérimental : <i>UFOV</i> - Groupe contrôle : <i>training</i> visuo-perceptif sur ordinateur	- <i>Baseline</i> : tests neuropsychologiques standardisés visuo-perceptifs et attentionnels, 3 tâches <i>UFOV</i> (vitesse de traitement, attention divisée et attention sélective) - <i>Outcomes</i> : <i>Baseline</i> + test sur route	- Pas de différence entre les groupes aux tests neuropsychologiques et au test sur route - Amélioration plus importante pour le groupe expérimental aux tâches <i>UFOV</i>
<b>Roenker et al. (2003)</b>	-Personnes âgées de 55 à 86 ans (N=95) - Réduction du champ visuel	- 4 à 5h - Groupe expérimental : <i>UFOV</i> (tâche vitesse de traitement), 1 session de 4 à 5h - Groupe contrôle : <i>training</i> sur simulateur de conduite (type éducationnel), 2 sessions de 2h	- Test <i>UFOV</i> - Test sur simulateur (TR simple et à choix) - Test sur route réelle - Pré-test, post-test et <i>follow-up</i> (à 18 mois)	- Amélioration au test <i>UFOV</i> pour le groupe expérimental en post-test et en <i>follow-up</i> - Amélioration au test sur simulateur pour les 2 groupes - Amélioration test sur route pour les 2 groupes → + importante pour le groupe contrôle → effet durable pour groupe expérimental
<b>TRAINING SUR ORDINATEUR</b>				
<b>Sivak, Hill &amp; Olson (1984)</b>	Cérébro-lésés (N=4)	- 10h : 6 sessions, 2 semaines - <i>Training</i> perceptif sur ordinateur : tâche de recherche visuelle, balayage visuel, poursuite visuelle, discrimination...	- Tests neuropsychologiques standardisés mesurant les capacités perceptives - Pré-test et post-test	- Amélioration aux tests perceptifs → Limites : pas de test sur route

<p><b>Cassavaugh &amp; Kramer (2009)</b></p>	<p>Personnes âgées d'environ 71 ans (N=21)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12h : 8 sessions de 90 min.</li> <li>- <i>Training</i> attentionnel sur ordinateur : poursuite de cibles, attention sélective, tâche de N-back, 2 double tâches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation sur simulateur de conduite : tâche de poursuite, de mémoire visuelle, de surveillance et 2 doubles tâches</li> <li>- Pré-test et post-test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse de régression</li> <li>- Facteurs permettant de prédire la performance de conduite sur simulateur : la performance sur simulateur en pré-test, la performance sur ordinateur de la 1<sup>ère</sup> session de <i>training</i>, et l'amélioration entre la 1<sup>ère</sup> session de <i>training</i> et la dernière</li> <li>→ Transfert de l'apprentissage d'un ordinateur à un simulateur</li> </ul>
<b>TRAINING SUR SIMULATEUR DE CONDUITE</b>				
<p><b>Javobs et al. (1997)</b></p>	<p>Personnes âgées de + de 55 ans (N=21)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulateur de conduite sans interactivité, visionnage de films</li> <li>- Groupe expérimental : visionnage de 4 films sur simulateur + conduite de 2h sur simulateur</li> <li>- Groupe intermédiaire : visionnage de 2 films en classe</li> <li>- Groupe contrôle : pas de <i>training</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Outcomes</i> : évaluation sur route réelle 1 mois après le <i>training</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe expérimental meilleur que les 2 autres groupes au test sur route</li> <li>- Limites : pas de <i>baseline</i> (pré-test)</li> </ul>
<p><b>-Akinwuntan et al. (2005b)</b> <b>-Devos et al. (2009)</b> <b>- Devos et al. (In Press)</b></p>	<p>AVC (N=83)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 15h : 3 sessions d'1h par semaine, 5 semaines</li> <li>- Groupe expérimental : <i>training</i> cognitif sur simulateur</li> <li>- Groupe contrôle : <i>training</i> cognitif avec des jeux commercialisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tests neuropsychologiques standardisés (<i>UFOV</i>, batterie <i>SDSA</i>...)</li> <li>- Test sur route (<i>TRIP</i>)</li> <li>- Test sur simulateur</li> <li>- Pré-test et post-test</li> <li>- <i>Follow-up</i> (à 6mois et à 5 ans) pour le test sur route</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration aux tests neuropsychologiques pour les 2 groupes</li> <li>- Amélioration au test simulateur pour le groupe expérimental</li> <li>- Amélioration au test sur route pour les 2 groupes</li> <li>- Amélioration à 6 mois au test sur route + grande pour le groupe expérimental</li> <li>- Différence due aux items visuo-intégratifs et tourne-à-gauche</li> <li>- Pas de différence 5 ans après</li> </ul>
<b>TRAINING MOTEUR AVEC VÉHICULE ÉLECTRIQUE MOTORISÉ</b>				
<p><b>Kewman et al. (1985)</b></p>	<p>TC (N=24)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 16h : 8 sessions de 2h</li> <li>- Groupe expérimental : <i>training</i> sur véhicule AMIGO + exercices spécifiques mettant en jeu l'attention</li> <li>- Groupe contrôle : conduite de AMIGO sans exercice + cours sur la sécurité routière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Test sur route réelle</li> <li>- Pré-test et post-test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration du groupe expérimental au cours du <i>training</i> (baisse du TR)</li> <li>- Amélioration au test sur route pour le groupe expérimental</li> <li>→ Implication importante de la dimension attentionnelle dans un <i>training</i> moteur</li> </ul>

<b>TRAINING SUR ROUTE</b>				
<b>Marottoli et al. (2007)</b>	Personnes âgées de + de 70 ans (N=126)	- Groupe expérimental : <i>training</i> sur route avec 2 sessions de 1h sur les habiletés de conduite (contrôle de la vitesse, distance de sécurité, respect de la signalisation..) + <i>training</i> éducationnel avec 2 sessions de 4h - Groupe contrôle : modules d'enseignement sur la sécurité en générale	- Test de connaissance sur la conduite automobile - Test sur route - Pré-test et <i>follow-up</i> (à 2 mois)	- Amélioration + importante du groupe expérimental pour le test de connaissance et le test sur route
<b>Bédard et al. (2008)</b>	Personnes âgées de + de 65 ans (N=75)	- Groupe expérimental : <i>training</i> sur route avec 2 sessions de 30 à 40 min. + <i>training</i> éducationnel avec 2 sessions de 3 à 4h - Groupe contrôle : pas de <i>training</i>	- QCM sur les connaissances des règles de sécurité routière - Test sur route - Pré-test et post-test	- Amélioration + importante su groupe expérimental pour le QCM et le test sur route - Diminution des erreurs de déplacement sur la chaussée → Amélioration du niveau tactique et stratégique
<b>INTERVENTION ÉDUCATIONNELLE</b>				
<b>Owsley et al. (2003)</b>	-Personnes âgées de + de 60 ans (N=365) -troubles visuels -accident de la route	- Groupe expérimental : intervention éducationnelle avec 2 sessions : discussion de l'impact des troubles visuels sur l'aptitude à la conduite, puis consolidation de la discussion (1mois après) - Groupe contrôle : pas de <i>training</i>	- Questionnaire par téléphone sur le comportement routier des participants - Pré-test et <i>follow-up</i> (à 6 mois)	- Le groupe expérimental admet mieux ses troubles visuels en post-test (pas le groupe contrôle) - De plus, il admet que ces troubles peuvent impacter la conduite → Auto-régulation des comportements de conduite
<b>TRAINING PHYSIQUE</b>				
<b>McCoy et al. (1993)</b>	Personnes âgées de + de 65 ans (N=105)	4 types d'intervention : - <i>training</i> perceptif - <i>training</i> éducationnel - amélioration de la signalisation - <i>training</i> kinésithérapique	- Test sur route - Pré-test et post-test	- Amélioration au test sur route pour les 4 <i>trainings</i> → Efficacité du <i>training</i> physique
<b>Marottoli et al. (2007)</b>	Personnes âgées de + de 70 ans (N=178)	- Groupe expérimental : 3 mois de <i>training</i> kinésithérapique, séance quotidienne - Groupe contrôle : pas de <i>training</i>	- Test sur route - Pré-test et <i>follow-up</i> (à 3 mois)	- Pas d'amélioration en <i>follow-up</i> pour les 2 groupes - Maintien du niveau <i>baseline</i> pour le groupe expérimental - Déclin des performances pour le groupe contrôle →La performance de conduite sur route diminuerait au cours du vieillissement normal, mais pourrait se stabiliser grâce à un entraînement kinésithérapique



## **CHAPITRE 2 – OBJECTIFS DE LA RECHERCHE**

Ce chapitre expose dans un premier temps les problématiques et hypothèses qui ont conduit à la construction de notre plan expérimental. Une partie moins conventionnelle étayera ensuite nos choix méthodologiques, avant de proposer une description détaillée de la méthodologie mise en oeuvre.

## I. PROBLÉMATIQUES ET HYPOTHÈSES

Le thème de cette recherche s'inscrit dans un contexte scientifique particulier puisqu'il s'agit d'étudier une population de personnes cérébro-lésées et plus particulièrement de patients traumatisés crâniens. On sait que le nombre de personnes atteintes d'un traumatisme crânien augmente chaque année et il s'agit dans la majorité des cas d'accident de la voie publique, bien qu'il existe beaucoup d'autres facteurs de risque. Cela touche essentiellement les jeunes hommes, qui sont reconnus pour avoir le plus de conduite à risque (au sens large du terme).

Les séquelles engendrées par le traumatisme crânien ont des répercussions sur la réinsertion socio-professionnelle et dans les activités de vie quotidienne, notamment la conduite automobile. Même si les séquelles physiques peuvent nuire à la réinsertion, ce sont surtout les troubles cognitifs et comportementaux qui rendent difficile la reprise des activités antérieures. Les séquelles neuropsychologiques sont nombreuses et variées. Cependant, les troubles mnésiques, les troubles attentionnels et les troubles exécutifs sont majoritaires (Azouvi, et al., 1998) et peuvent constituer un risque pour la conduite automobile qui les sollicite fortement. Par ailleurs, les troubles attentionnels résiduels peuvent persister plus de deux ans après l'accident à l'origine du TC (Van Zomeren et Van Den Burg, 1985).

Jusqu'à présent, les études s'intéressant au traumatisme crânien et à la conduite automobile s'inscrivaient plutôt du côté de l'**évaluation** des aptitudes de conduite (Lew, 2005 ; Lundqvist, 2001). Cependant, malgré la diversité des outils utilisés, elles arrivent à un consensus : il est très difficile voire impossible de prédire les habiletés d'une personne dans un processus de reprise de la conduite automobile. La présente étude aborde le problème sous un angle différent : celui de la **rééducation**. Il s'agit ici de répondre à la question de l'enjeu d'une rééducation cognitive centrée sur l'attention. Les patients traumatisés crâniens, même à distance de leur traumatisme, peuvent-ils bénéficier d'une rééducation de l'attention permettant une conduite plus sécuritaire ?

La rééducation est une branche de la neuropsychologie en pleine expansion. S'intéressant en premier lieu au langage (Ducarne de Ribaucourt, 1997), elle s'étend de nos jours à beaucoup d'autres processus cognitifs tels que la mémoire, l'attention ou encore les fonctions exécutives. Cependant, un programme de rééducation optimale reste encore difficile à définir car son efficacité ne réside pas seulement dans la conception du training en lui-même. En effet, d'autres facteurs doivent être pris en considération dans l'efficacité d'un training : la sévérité de la lésion, la distance par rapport au traumatisme, la localisation et la nature de la lésion, l'âge ou encore la motivation (Michel & Mateer, 2006). Un training attentionnel peut être envisagé de diverses manières, il peut prendre une orientation fonctionnelle (entraîner une habileté spécifique) ou bien une orientation restauratrice (entraîner un processus cognitif en particulier). Nous avons décidé de combiner ces deux approches en proposant un training qui vise la récupération des processus attentionnels, mais qui s'effectue dans le contexte d'une habileté bien spécifique : la conduite automobile sur simulateur. Le simulateur de conduite représente un outil qui nous semble plus adapté que des épreuves dites « papier-crayon » pour faciliter la transférabilité des bénéfices de l'entraînement attentionnel et indirectement améliorer l'aptitude à la conduite. En effet, le

simulateur est plus écologique car proche de la réalité, permet une immersion grâce au contexte de réalité virtuelle et peut ainsi faciliter le transfert et la généralisation des bénéfices dans la vie quotidienne. De plus, cet outil permet de simuler des situations critiques, peu maîtrisables ou observables en situation réelle du fait du haut niveau de risque qu'elles entraînent. Enfin, le training sur simulateur de conduite n'a pas encore été utilisé, à notre connaissance, auprès d'une population de traumatisés crâniens. Cette étude semble donc novatrice, bien que cet outil ait déjà fait ses preuves auprès d'une population de personnes ayant subi un accident vasculaire cérébral (Akinwuntan, et al., 2005b).

Pour vérifier l'avantage d'un entraînement sur simulateur par rapport à un entraînement plus classique, nous avons décidé de scinder le groupe de patients traumatisés crâniens de manière à ce que la moitié d'entre eux bénéficie d'un programme d'entraînement de l'attention sur simulateur de conduite et l'autre moitié bénéficie d'un programme d'entraînement de l'attention sur ordinateur.

Les programmes de training (sur simulateur et sur ordinateur) étaient centrés sur les processus attentionnels, ainsi, nous pensons qu'ils peuvent avoir un effet bénéfique sur tout type de population présentant une baisse d'efficacité de leurs capacités attentionnelles. Dans la mesure où des difficultés attentionnelles sont couramment observées au cours du vieillissement normal (Hartley, 1992), il nous a semblé pertinent d'inclure dans l'étude un groupe de participants âgés de plus de 65 ans.

**Notre hypothèse générale porte sur le fait que grâce à la plasticité cérébrale et à la rééducation cognitive, nous devrions pouvoir améliorer l'efficacité attentionnelle des personnes présentant un déclin de cette faculté (patients traumatisés crâniens et personnes âgées). L'amélioration des capacités attentionnelles devrait, par ailleurs, se répercuter positivement sur l'aptitude à la conduite, la rendant ainsi plus sécuritaire.**

L'enjeu premier de cette recherche consiste à améliorer les capacités attentionnelles des personnes présentant une baisse d'efficacité de ces aptitudes (en lien avec l'âge ou la survenue d'un traumatisme crânien) pouvant se répercuter sur la conduite automobile. L'amélioration vise une conduite plus sécuritaire mais cette étude n'a pas pour but de faire reprendre la conduite trop précocement aux patients traumatisés crâniens.

Cette étude tente également d'apporter de meilleures connaissances sur le rôle des fonctions attentionnelles dans l'activité de conduite automobile, et ainsi de mieux appréhender les conséquences du dysfonctionnement de ces fonctions sur la compétence de conduite.

Pour structurer notre travail et notre stratégie de rédaction, nous avons retenu le cadre théorique de Van Zomeren et Brouwer (1994) selon lequel l'attention est scindée en deux dimensions, l'une intensive (alerte phasique et vigilance) et l'autre sélective (attention sélective et attention divisée).

Les hypothèses qui suivent se situent à la convergence de notre hypothèse générale et du cadre méthodologique :

- **Hypothèse concernant les participants en général (comparaison intra-groupe) :**

Dans un premier temps, nous postulons que les performances des participants (traumatisés crâniens et âgés), tout type de training confondu (simulateur et ordinateur), vont progresser de manière croissante au cours des différentes sessions de training. Ainsi, nous nous attendons à une amélioration des temps de réponse au fur et à mesure de l'avancée du

programme de rééducation attentionnelle (de la session 1 à la session 9), quelle que soit la méthode employée (simulateur ou ordinateur).

Dans un second temps, nous pensons que les performances attentionnelles et de conduite vont s'améliorer entre l'évaluation pré-training (avant l'entraînement) et l'évaluation post-training (après l'entraînement). Ainsi, nous espérons de meilleurs scores aux tests neuropsychologiques, au test sur simulateur de conduite et au test sur route lors du post-test comparé au pré-test.

Une hypothèse plus spécifique scinde les résultats du training attentionnel et de l'évaluation neuropsychologique. En effet, une amélioration plus importante est attendue aux tâches qui mettent en jeu les processus d'attention sélective et d'attention divisée, comparées aux tâches qui mesurent les processus d'alerte phasique et de vigilance. Dans notre revue de la littérature consacrée à la rééducation, nous avons vu que les aspects sélectifs de l'attention se rééduqueraient plus facilement que les aspects intensifs (Sturm, et al., 1997).

- **Hypothèses concernant la comparaison inter-groupe :**

Après avoir étudié l'évolution des performances des deux groupes de manière indépendante (groupe ordinateur et groupe simulateur), nous comparerons les groupes entre eux. Nous nous attendons à ce que les participants ayant bénéficié du training sur simulateur de conduite s'améliorent plus que les participants entraînés sur ordinateur. En effet, nous pensons qu'un training plus « écologique » est favorable au transfert des apprentissages puisque l'environnement rééducatif se rapproche de l'environnement réel (Magill, 2001; cité par Akinwuntan, et al., 2005b). Le training avec simulateur de conduite devrait donc permettre d'obtenir de meilleures performances que le training avec ordinateur.

En revanche, l'évaluation post-training réalisée avec les tests neuropsychologiques ne requiert aucun transfert d'apprentissage puisqu'il s'agit de tests papier-crayon. On ne s'attend donc pas à observer de différence significative selon le type de training utilisé.

## **II. EXPLICATION DES CHOIX MÉTHODOLOGIQUES – LA THÉORIE COMME MÉTHODOLOGIE**

Afin de limiter les biais lors de l'interprétation des résultats, nous avons effectué des choix méthodologiques en fonction des considérations théoriques pertinentes pour notre étude. Selon Whyte et al. (2003), la place de la théorie dans une recherche portant sur la rééducation est doublement importante. Elle sert d'une part à aborder les concepts fondamentaux de l'étude et à les contextualiser ; mais elle a aussi, d'autre part, un rôle de méthodologie : l'auteur parle de la « théorie comme méthode ». Ainsi, nous avons décidé de donner l'explication théorique du fondement méthodologique de notre étude. La théorie est donc utilisée ici pour définir et mesurer le contenu du training, on l'utilise comme une méthode.

Les points méthodologiques que nous souhaitons éclaircir sont présentés dans un ordre chronologique correspondant au fil conducteur de notre réflexion. La méthodologie employée dans cette recherche est identique pour les deux populations observées (des personnes avec traumatisme crânien et des personnes âgées).

### **1. Rééducation à visée restauratrice vs rééducation à visée fonctionnelle**

Dans notre chapitre 1 sur le contexte théorique, la partie portant sur la rééducation a mis en avant deux principaux types de rééducation : une rééducation à visée restauratrice



centrée sur les processus cognitifs et une à visée fonctionnelle centrée sur l'amélioration d'une activité de vie quotidienne. L'analyse de la littérature a montré que, grâce à la plasticité cérébrale, il est possible de « restaurer » certaines fonctions cognitives par le biais d'une rééducation (Robertson & Murre, 1999). De plus, la rééducation à visée restauratrice peut être généralisée à plusieurs activités de vie quotidienne alors que la rééducation à visée fonctionnelle est spécifique à une activité de vie quotidienne. Par conséquent, nous avons fait le choix de nous orienter vers une rééducation à visée restauratrice, centrée sur les processus attentionnels, dans le but d'étendre l'amélioration attendue au cours du training à des activités de vie quotidienne comme la conduite automobile.

Les protocoles de recherche dans le domaine de la rééducation sont généralement complexes et donnent lieu à des travaux de grande envergure. Effectivement, la rééducation implique le plus souvent une thérapie cognitive de longue durée et fastidieuse pour le participant. Ainsi, afin d'être plus accessible, elle doit cibler un objectif bien spécifique et se focaliser seulement sur certains processus cognitifs. Nous avons fait le choix de l'entraînement d'un processus cognitif majoritairement impliqué dans l'activité de conduite : le processus attentionnel qui par ailleurs constitue un pré-requis au bon fonctionnement des autres capacités cognitives.

En nous intéressant ainsi au bénéfice d'un entraînement de l'attention nous avons dû faire des choix quant aux processus attentionnels spécifiques à entraîner. En effet, Sturm et al. (1997) ont montré qu'un training attentionnel est bénéfique seulement s'il prend en compte les particularités de chaque processus attentionnel de manière indépendante. Les premières tentatives d'intervention visant l'amélioration de l'efficacité attentionnelle de patients cérébro-lésés s'avéraient « aspécifiques », très globales. Or, la littérature indique aujourd'hui qu'il est préférable de pratiquer une rééducation « spécifique », prenant en considération les différents processus attentionnels indépendamment les uns des autres (Sturm & Leclercq, 2000).

Considérant l'attention comme un processus multiple et non unique, nous avons opté pour une approche qui permet de rééduquer chacun des processus attentionnels de manière spécifique et non générale. Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle reconnu dans le domaine de l'attention : le modèle clinique de Van Zomeren et Brouwer (1994). Ce modèle divisant l'attention en quatre composantes, nous a permis d'organiser la construction de notre programme d'entraînement sur simulateur de conduite et sur ordinateur. Ainsi, quatre séries d'exercices faisant appel à l'alerte phasique, la vigilance, l'attention sélective et l'attention divisée, ont été créés pour le training sur simulateur et choisis pour le training sur ordinateur.

## **2. Une évaluation multiple avant et après le training**

Toute rééducation doit comporter une évaluation « pré » et une évaluation « post » prise en charge. L'évaluation « pré » sert de mesure de base (baseline). Les mesures quantitatives et/ou qualitatives recueillies durant cette évaluation pourront ensuite être comparées aux données recueillies à l'issue de la prise en charge lors de l'évaluation « post » (on parle de mesures outcomes). En l'absence de règles précises disponibles dans la littérature en ce qui concerne le moment auquel doit être réalisé le post-test, nous avons décidé d'attendre deux à sept jours après la fin du training, de façon à éviter un phénomène de réminiscence du training. La réminiscence est un retour à la conscience de souvenirs, non accompagnés de reconnaissance, le souvenir n'est pas reconnu comme tel. Dans notre étude, la baseline et les mesures outcomes sont établies sur la base d'une évaluation strictement identique. Le choix des tests utilisés lors de cette évaluation est primordial puisqu'il va permettre d'observer ou non le bénéfice du training. Afin de valider l'effet positif ou non

d'une prise en charge, l'évaluation est généralement constituée de plusieurs tests. En effet une mesure unique pourrait masquer les effets précis du traitement et conclure à une absence de bénéfice alors qu'il pourrait simplement s'agir d'une insensibilité de la mesure à l'effet (Whyte, 2003). Pour ces raisons, notre protocole comporte une évaluation multiple qui intègre :

- Des tests neuropsychologiques permettant d'obtenir des mesures standardisées et normées des facultés attentionnelles.
- Des épreuves sur simulateur de conduite permettant une mesure reproductible entre les participants.
- Une évaluation sur route réelle permettant d'obtenir une mesure écologique de l'aptitude à la conduite.

Selon Whyte (2006), les mesures outcomes doivent permettre de répondre à plusieurs questions : est-ce que le traitement est efficace ?, comment peut-il être maximisé et quel est le bénéfice du traitement dans la vie quotidienne ? L'évaluation neuropsychologique nous permettra de mesurer spécifiquement l'évolution des capacités attentionnelles après entraînement, l'évaluation sur simulateur de conduite nous permettra de mesurer ces mêmes aptitudes dans des situations plus complexes de conduite automobile, et enfin l'évaluation sur route nous permettra de voir le bénéfice de cet entraînement (transfert des acquis) en situation écologique (avec mise en œuvre des savoir-faire).

### **3. Paradigme d'évaluation en rééducation**

Dans le domaine de la rééducation, le principal paradigme utilisé lors d'analyses intra-groupes est le paradigme temporel. Il permet de comparer les performances d'un groupe de patients obtenues lors d'une évaluation à un temps 0, avec les performances de ce même groupe obtenues à un temps T. Le paradigme le plus utilisé est alors le paradigme ABAB (alternance temporelle de différents traitements). Lorsqu'on fait des analyses inter-groupes, on compare les résultats d'un groupe de participants obtenus à une évaluation, avec les résultats obtenus auprès d'un autre groupe à cette même évaluation.

Ainsi, nous avons deux options : constituer un seul groupe de participants effectuant les deux types de training de manière alternative, ou bien constituer deux groupes effectuant chacun un training différent. Nous avons envisagé l'éventualité d'utiliser la méthode ABAB (avec A=training simulateur et B= training ordinateur) dont l'avantage essentiel est qu'elle ne nécessite pas de constituer deux groupes de patients (Seron, 2000). En effet, chaque sujet devient son propre contrôle, ce qui permet d'homogénéiser les deux types de training proposés. Cependant, cette méthode oblige à réaliser quatre fois les évaluations qui constituent la ligne de base ; ce qui, selon nous, engendre un fort effet test-retest et allonge les temps d'expérimentation de manière significative.

De ce fait, nous avons préféré utiliser la méthode classique de comparaison entre groupes. Afin d'apparier le groupe de participants ayant bénéficié du training sur simulateur avec le groupe entraîné sur ordinateur, nous avons utilisé une randomisation selon la méthode RCT (Randomized Controlled trial). Cette méthode consiste à attribuer, de manière aléatoire, un groupe d'appartenance aux participants lors de leur inclusion au protocole de recherche. Ainsi, avant de commencer l'évaluation, les participants étaient soit considérés comme appartenant au groupe simulateur soit au groupe ordinateur.

#### 4. Deux types de training vs un seul training

Il existe deux approches classiques de la comparaison de groupes. On peut comparer un groupe rééduqué avec un groupe non rééduqué, ou bien comparer deux méthodes de rééducation entre elles (Seron & Partz, 1997). Notre choix s'est porté sur cette dernière approche, ainsi, un groupe bénéficiant d'un training sur simulateur de conduite et un groupe bénéficiant d'un **autre type de training** ont été constitués. Un seul training n'aurait pas permis, selon nous, d'obtenir des conclusions fructueuses. En effet, si la comparaison entre un groupe rééduqué et un groupe non rééduqué aboutit à une différence significative en faveur du groupe rééduqué, on pourra simplement conclure au fait qu'il est préférable de prendre en charge les patients plutôt que de ne rien faire. Cette démarche ne permet donc pas d'établir le bien-fondé du training choisi. De plus, d'un point de vue éthique, il devient difficile de mettre en place dans la pratique clinique une condition contrôle « sans traitement » où on ne propose rien aux patients (Cicerone, et al., 2000).

Selon Cicerone (2005), il existe quatre interventions alternatives qui permettent de comparer un groupe bénéficiant d'une rééducation cognitive. On peut utiliser une réhabilitation conventionnelle (ergothérapie, orthophoniste), un pseudo-traitement (stimulation mentale et sociale sans visée thérapeutique), une intervention psycho-sociale (psychothérapie) ou encore une intervention cognitive alternative (entraînement cognitif différent du principal proposé). Cette dernière semblait plus appropriée à notre situation, le deuxième groupe de notre étude a donc lui aussi bénéficié d'un **training cognitif** spécifique, mais réalisé sur ordinateur.

#### 5. Choix du support de training

Le simulateur de conduite nous a paru être l'outil adéquat pour entraîner des processus cognitifs liés à l'activité de conduite. De plus, plusieurs études ont pu montrer l'efficacité de l'utilisation de cet outil auprès d'une population de personnes âgées (Jacobs, 1997) ou de patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (Akinwuntan, et al., 2005b). L'investigation de cet outil auprès d'une population de patients avec traumatisme crânien n'a par contre pas encore été réalisée, ce qui explique notre intérêt pour le simulateur de conduite.

Dans la mesure où l'approche fonctionnelle et l'approche restauratrice ont toutes deux fait leur preuve, nous avons décidé de les allier dans notre approche rééducative. Le training que nous avons construit repose sur des fondations cognitives puisqu'il suit un modèle attentionnel. Nous avons alors tenté de lier cette approche restauratrice (centrée sur les processus attentionnels) à une approche plus fonctionnelle en réalisant le training cognitif dans un simulateur de conduite. La nouveauté de notre travail réside dans le fait que le simulateur de conduite a été utilisé pour rééduquer des processus cognitifs et non pour rééduquer des aspects plus basiques (moteurs) de la tâche de conduite. En effet, comme nous avons pu le constater au travers d'études citées dans la section de chapitre rééducation sur simulateur de conduite (p.100), le simulateur est souvent utilisé dans une optique de rééducation fonctionnelle.

Le choix du deuxième training s'est porté sur un training cognitif pour être en adéquation avec le training principal (simulateur). L'ordinateur nous a semblé être un outil judicieux par rapport à un training papier-crayon. Tout d'abord parce que nous voulions garder une certaine cohésion entre les deux types de supports utilisés : le simulateur, tout comme l'ordinateur, utilise un support informatisé (visuel, coloré, animé...). Ensuite, parce qu'il présente de nombreux avantages par rapport à un training papier-crayon : il est plus attractif, les mesures sont plus précises, il permet une progression dans la difficulté de la tâche, il a un feedback automatique, les paradigmes sont plus proches des situations de vie

quotidienne, etc. Enfin, parce que la remédiation cognitive chez des patients schizophrènes s'est montrée d'une plus grande efficacité lorsque le training utilisait un support ordinateur par rapport à un support papier-crayon (Twamley, Jeste, & Bellack, 2003).

Devant l'ampleur des logiciels de rééducation proposés à la commercialisation, le choix n'a pas été simple. Cependant, les logiciels centrés sur les processus mnésiques ou sur la rééducation aspécifique de l'attention ont été écartés rapidement. Ce sont donc les logiciels proposés par l'entreprise Schuhfried (CogniPlus® et Réhacom®) qui répondaient le plus à nos attentes. De plus, ils avaient déjà fait leurs preuves dans la littérature (Longoni, 2000 ; Schuster, 2002 ; Sturm, 1997 ; Sturm, 1999 ; Cochet, 2006 ; Galbiati, 2009). C'est finalement le logiciel CogniPlus® qui a été utilisé dans notre étude pour deux raisons, d'une part parce qu'il proposait quatre sub-tests attentionnels congruents avec le modèle théorique choisi et d'autre part parce que les tâches proposées étaient dynamiques (en mouvement), contrairement au logiciel Réhacom®.

Ainsi, les deux groupes expérimentaux (simulateur et ordinateur) ont effectué un programme d'entraînement sur support informatisé et dans un environnement dynamique.

## **6. Un training identique pour les deux types de population**

Les patients traumatisés crâniens sont principalement des personnes jeunes, or, les jeunes et les personnes âgées font des erreurs de conduite relativement différentes. Ainsi, Bédard et al. (2008) ont utilisé des approches rééducatives différentes chez ces deux populations afin d'entraîner les habiletés de conduite en fonction des spécificités de chaque population (approche fonctionnelle). Cependant, dans notre recherche, l'objectif est d'améliorer les capacités attentionnelles, l'orientation principale étant donc restauratrice. En effet, la baisse de l'efficacité attentionnelle observée dans ces deux populations est assez semblable (voir chapitre théorique p.60). Ainsi, nous supposons que les patients traumatisés crâniens et les personnes âgées peuvent bénéficier d'un même entraînement de l'attention.

## **7. La durée du training**

La conception d'un programme de rééducation implique de faire des choix quant à sa durée, son intensité et sa fréquence (très variables d'une étude à une autre). Une étude s'intéressant aux facteurs qui permettent d'améliorer le bénéfice d'une rééducation montre l'importance de la durée du training chez des patients avec pathologies psychiatriques (Choi & Medalia, 2005). Leur training comprenait 26 sessions d'une heure réparties de manière variable selon les groupes. Un groupe bénéficiait d'un training de haute intensité (d'une durée de quatre mois) et un groupe bénéficiant d'un training de basse intensité (26 sessions en plus de quatre mois). Les auteurs montrent qu'un training doit être intensif pour être efficace, en effet, les patients du groupe « haute intensité » ont obtenu une amélioration de leurs performances cognitives bien plus importante que le groupe « basse intensité ». Leur étude met en évidence l'existence d'un seuil à partir duquel le training ne montre plus de bénéfice. Par conséquent, ils concluent que ce n'est pas la durée du training qui conditionne son efficacité mais plutôt son intensité. De ce fait, il semble inutile de faire durer un training sur une période de temps trop longue.

D'après les recommandations cliniques de Sohlberg et al. (2003), un training attentionnel serait efficace s'il compte au moins une session de training par semaine. Cette revue de littérature montre que la durée et la fréquence des interventions sont variables d'une étude à l'autre : la durée d'une tâche de rééducation attentionnelle varie entre 5 et 10 minutes, la durée d'une session de training de 30 à 120 minutes, le nombre de sessions peut aller d'une par jour à deux par semaine et enfin le training en entier peut durer de 4 à 9 semaines

(Sohlberg, et al., 2003). Beaucoup d'études choisissent a priori la durée et le nombre de sessions de l'intervention, sans réellement le justifier. Cependant, certains auteurs se sont intéressés spécifiquement au training sur simulateur de conduite (auprès de patients avec accident vasculaire cérébral) et ont montré que dix heures de training constitueraient une durée suffisante pour obtenir des bénéfices (Akinwuntan, et al., 2007).

En prenant en considération ces différentes recherches, nous avons choisi pour notre étude de privilégier l'intensité du training et non la durée. C'est ainsi que nous avons constitué un training de trois semaines, à raison de trois sessions d'une heure par semaine. Chaque tâche d'un training attentionnel efficace doit fournir une répétition suffisante pour stimuler l'amélioration du processus attentionnel (Michel & Mateer, 2006).

## **8. Le feedback comme partie intégrante du training**

Le feedback est un retour sur les expériences et performances du participant. Selon Sohlberg (2003), une des principales caractéristiques d'un training attentionnel réussi est d'intégrer conjointement une dimension métacognitive au training (feedback, self-monitoring, stratégie). C'est pourquoi un entraînement de l'attention est encore plus bénéfique si l'on fait prendre conscience au patient de ses problèmes cognitifs.

Par conséquent, nous avons utilisé un feedback cognitif pour permettre aux participants de prendre conscience de leurs erreurs et d'améliorer leurs performances d'une séance à l'autre. Le feedback du groupe simulateur était principalement verbal et s'effectuait au début de la session qui suivait (après traitement des données informatiques) alors que le feedback du groupe ordinateur était visuel et automatiquement généré par le logiciel CogniPlus<sup>®</sup> en fin de session (graphique des temps de réponse et pourcentage d'erreurs).

## **9. Expérimentation en double aveugle**

L'étude avec répartition aléatoire en double aveugle, est la démarche expérimentale la plus utilisée en recherche médicale et pharmaceutique. Le rôle d'un tel protocole, relativement lourd à mettre en place, est de réduire au mieux l'influence sur la ou les variables mesurées que pourrait avoir la connaissance d'une information (utilisation d'un produit actif ou d'un placebo, par exemple) à la fois sur le patient (premier « aveugle ») et sur l'examineur (deuxième « aveugle »). C'est la base de la médecine fondée sur les faits.

Dans notre cas, les personnes qui réalisaient l'évaluation pré et post-training concernant les tests neuropsychologiques et l'évaluation sur route, n'étaient pas au courant du groupe d'appartenance du sujet (type de training réalisé), et l'expérimentateur qui effectuait le training n'était pas au fait des résultats obtenus à l'évaluation pré-training (tests neuropsychologiques et test sur route). Ainsi, nous n'avons pas participé à ces pré-tests, d'une part pour ne pas être influencé par les résultats lors du training, et d'autre part nous n'avons pas participé à ces post-tests pour éviter l'influence des résultats du training sur l'évaluation. C'est donc un moniteur d'auto-école et un neuropsychologue qui effectuaient l'évaluation seuls, sans savoir de quel type de training bénéficiait le participant. De ce fait, ils ne pouvaient avantager ni le groupe simulateur, ni le groupe ordinateur. La méthode du double aveugle a ainsi écarté la subjectivité de l'expérimentateur au profit de l'étude des seuls faits. En revanche, cette méthode n'a pu être appliquée pour l'évaluation pré et post-training sur simulateur de conduite. En effet, nous ne pouvions ignorer le groupe auquel appartenait le patient en raison de notre double statut : expérimentateur lors de l'évaluation sur simulateur de conduite et lors du training. Cependant, l'utilisation du simulateur comme outil de mesure présente l'intérêt de recueillir des mesures objectives, il s'agit donc de mesures fermées, qui

devraient réduire l'impact subjectif de l'expérimentateur sur sa façon d'évaluer les participants sur simulateur de conduite. À l'inverse, notre implication dans le training n'aurait pas été naïve si nous avions pris connaissance des difficultés des patients lors de la conduite sur route et/ou du bilan neuropsychologique.

### **10. Inclusion des patients avec traumatisme crânien**

Les personnes ayant été victimes d'un traumatisme crânien léger souffrent aussi de trouble de l'attention, au même titre que les patients traumatisés crâniens modérés et sévères. Cependant, leurs troubles attentionnels paraissent beaucoup plus subtils et ne se manifestent que dans les conditions les plus complexes (Allain, Aubin, & Le Gall, 2004). De plus, les troubles ne concernent pas toutes les dimensions de l'attention (sélectivité et intensité) et sont difficilement mis en évidence. Dans la plupart des cas, il s'agit de plaintes subjectives, difficilement objectivables à l'aide des tests neuropsychologiques classiques.

De ce fait, nous pensons qu'il est difficile d'observer les effets bénéfiques d'un training si les tests neuropsychologiques utilisés en baseline ne permettent pas de mettre en évidence des troubles attentionnels discrets chez cette population spécifique de patients traumatisés crâniens (effet plafond). Ainsi, seuls les patients avec traumatisme crânien modéré et sévère ont été inclus, soit un score à l'échelle de Glasgow inférieur à huit.

Nous avons pris la décision de commencer à inclure les patients traumatisés crâniens à partir du moment où ils n'étaient plus en phase aigüe (soit quatre semaines après le traumatisme crânien) car la récupération cognitive spontanée s'observe principalement durant cette période. Par conséquent, les preuves seraient insuffisantes pour distinguer l'effet spécifique du training attentionnel de la récupération spontanée. Ainsi, des interventions spécifiques de l'attention pendant la période de recouvrement aigu ne sont pas recommandées (Cicerone, et al., 2000).

## **CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE**





## I. LES PARTICIPANTS

### 1. Critères généraux de sélection des participants

Tous les participants devaient être des assurés sociaux, titulaires d'un permis de conduire de véhicule léger depuis trois ans minimum et ne devaient pas avoir fait l'objet d'une mesure de suspension récente. Ceux qui étaient susceptibles de ressentir le mal du simulateur ou répondant à l'un des critères d'exclusion suivants n'ont pas été retenus : femmes enceintes, personnes majeures protégées par la loi (conformément aux articles L.1121-5 et L.1121-8), insuffisance respiratoire ou cardiaque, chirurgie cardiaque récente, prédisposition au mal des transports, problèmes d'oreille interne, déficiences visuelles ou auditives non corrigées, troubles neurologiques (accident vasculaire cérébral, tumeur...), antécédents psychiatriques majeurs (psychose, névrose...), antécédents d'éthylisme et/ou de toxicomanie, traitement par psychotropes non stabilisés, troubles de la compréhension (score au Token Test supérieur à 29), NSU (Négligence Spatiale Unilatérale), syndrome de Balint, atteinte maculaire. En ce qui concerne les troubles moteurs, les personnes avec atteinte des membres inférieurs (si trouble sévère) ont été exclues. Par ailleurs, comme pour toute étude réalisée sur un simulateur de conduite, les personnes souffrant d'épilepsie n'ont pas été autorisés à participer.

Certains critères d'inclusion étaient spécifiques aux patients traumatisés crâniens : ils devaient être âgés de moins de 65 ans (afin de limiter au mieux les effets liés à l'âge), avoir un traumatisme modéré à sévère (score à l'échelle de Glasgow inférieur à 12), et être sortis d'Amnésie Post-Traumatique (un score au GOAT supérieur à 76). Les patients devaient avoir suffisamment récupérés pour que la question de la reprise de la conduite automobile puisse commencer à se poser pour le patient ou l'équipe soignante.

Les critères d'exclusion pour les personnes âgées étaient les suivants : elles devaient être âgées de plus de 65 ans pour faire partie de la catégorie « senior », avoir un score au Mini Mental State Examination (MMSE) supérieur à 26 sur 30, un score à la Batterie Rapide d'Efficiency Frontale (BREF) supérieur à 14 sur 18 et enfin un score à la Batterie d'Evaluation Cognitive (BEC 96) supérieur à 80 sur 96. Un score inférieur à toutes ces batteries était considéré comme pathologique et pouvait refléter un début de démence.

Les tests neuropsychologiques utilisés comme critère de sélection évaluent divers processus cognitifs. Plus précisément, le MMSE (Folstein, Folstein, & Mchugh, 1975) évalue des domaines cognitifs généraux : l'orientation temporelle et spatiale, l'apprentissage, le calcul mental, la mémoire, le langage et les praxies constructives. La BREF (Dubois, Slachevsky, Litvan, & Pillon, 2000) évalue les fonctions cognitives tributaires du lobe frontal comme : la conceptualisation, la flexibilité mentale, la programmation, la sensibilité à l'interférence, l'inhibition et le comportement de préhension. Enfin, la BEC 96 (Signoret, Allard, Benoit, Bonvarlet, & Eustache, 1989) évalue les troubles de mémoire et désordres cognitifs associés (activités organisatrices, activités verbales et activités perceptivo-motrices).

Tous les participants ont perçu une indemnité de 150 euros et ont donné par écrit leur consentement libre et éclairé pour participer à cette étude (cf. annexe 6 : Formulaire de consentement). Par ailleurs, cette étude a été approuvée par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (AFSSAPS) le 30 juin 2009 et par le Comité de Protection des Personnes (CPP) SUD-EST II Lyon, le 17 juillet 2009.

## 2. Caractéristiques des patients traumatisés crâniens

Dix patients avec traumatisme crânien (deux femmes et huit hommes) ont été recrutés au sein de l'hôpital Henry Gabrielle à St Genis Laval. Ceux-ci ont été répartis aléatoirement dans deux groupes correspondant à deux types de training différents. Le faible effectif de patients traumatisés crâniens recrutés s'explique par des difficultés d'inclusion liées aux troubles moteurs ou visuels souvent associés au traumatisme. De ce fait, un grand nombre de patients admis à l'hôpital n'ont pas pu participer.

Le Tableau 5 récapitule les caractéristiques individuelles des patients selon leur groupe d'attribution (training sur simulateur de conduite ou training sur ordinateur). Le calcul du Quotient Intellectuel (QI) est une pratique courante après atteinte cérébrale, il a donc également été calculé pour les 10 patients traumatisés crâniens.

Tableau 5. Caractéristiques individuelles des patients traumatisés crâniens selon leur groupe

<b>Patients</b>	<b>Sexe</b>	<b>Age (ans)</b>	<b>NSC<sup>1</sup></b>	<b>QI<sup>2</sup></b>
Simu P1	F	25.42	3	81
Simu P2	M	25.05	3	82
Simu P3	F	34.67	3	82
Simu P4	M	39.08	3	107
Simu P5	M	39.42	1	100
<b>Moy ± ET Simu</b>		<b>32.82 ± 6.97</b>		<b>90.4 ± 12.22</b>
Ordi P1	M	26.75	3	95
Ordi P2	M	45.33	2	97
Ordi P3	M	27.33	3	123
Ordi P4	M	28.17	3	111
Ordi P5	M	54.08	3	90
<b>Moy ± ET Ordi</b>		<b>36.33 ± 12.60</b>		<b>103.2 ± 13.54</b>

<sup>1</sup> Niveau Socio Culturel (1 : niveau d'études < CEP, 2 : niveau d'études entre CEP et BAC, 3 : niveau d'études > BAC)

<sup>2</sup> Quotient Intellectuel mesuré à partir du test des Matrices Progressives de Raven (PM 38 ; Raven, 1941)

Les dix patients traumatisés crâniens avaient un âge compris entre 25 et 54 ans au moment de l'expérience ( $34.58 \pm 10$  ans). Huit patients ont fait des études supérieures au BAC, un patient entre le BAC et le CEP, et un patient s'est arrêté au CEP. Il n'y a pas de différence significative entre les patients traumatisés crâniens du groupe simulateur et les patients du groupe ordinateur au niveau de l'âge ( $U=9$  ;  $Z=-0.731$  ;  $p=.465$ ), du niveau socio culturel ( $\text{Khi}^2=2$ ,  $p=.368$ ), et du quotient intellectuel ( $U=6$  ;  $Z=-1.362$  ;  $p=.173$ ).

Le Tableau 6 décrit les caractéristiques du traumatisme crânien pour chaque patient au moment de l'expérience.

Tableau 6. Caractéristiques du traumatisme crânien pour chaque patient

<b>Patients</b>	<b>Lésion cérébrale</b>	<b>Score GCS<sup>1</sup></b>	<b>Distance TC (mois)<sup>2</sup></b>
Simu P1	Hématome sous-dural aigu temporo-occipito-pariétal gauche	6	10
Simu P2	Hématome sous dural aigu fronto-temporo-pariétal droit	3	30
Simu P3	Hématome droit	7	37
Simu P4	Lésion axonale diffuse, frontale et pariétale, bilatérale	/	72
Simu P5	/	/	6
Ordi P1	Lésions diffuses	5	25
Ordi P2	Lésions frontales	/	106
Ordi P3	Embarrure fronto-temporale droite	/	1
Ordi P4	Hématomes frontaux	5	2
Ordi P5	Hématome orbitaire gauche	7	2

<sup>1</sup> Glasgow Coma Scale (échelle de coma de Glasgow)

<sup>2</sup> Nombre de mois entre le traumatisme et l'accident

Tous les patients testés avaient subi un traumatisme crânien sévère. Il faut noter que quatre d'entre eux étaient classifiés comme TC sévères bien que le score à l'échelle de Glasgow n'était pas spécifié dans le dossier médical. La distance moyenne par rapport au traumatisme crânien est de  $31 \pm 26.38$  mois pour le groupe simulateur et de  $27 \pm 45.20$  mois pour le groupe ordinateur. Cette distance peut varier d'un individu à un autre car l'inclusion ne s'est pas faite par rapport à une date précise mais à partir du moment où la récupération cognitive et physique était jugée suffisante pour pouvoir participer à l'étude. Ainsi, certains patients ayant très vite récupérés ont pu être inclus un ou deux mois après la lésion alors que d'autres ont été vus trois ans après leur traumatisme. Un patient a été inclus 8 ans après le traumatisme crânien parce qu'il n'avait toujours pas repris la conduite automobile. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les patients traumatisés crâniens du groupe simulateur comparés aux patients du groupe ordinateur au niveau de la distance du TC ( $U=7$  ;  $Z=-1.152$  ;  $p<.249$ ).

### 3. Caractéristiques des personnes âgées

Seize personnes âgées de plus de 65 ans (quatre femmes et douze hommes) ont été recrutées par le biais d'associations de personnes retraitées et sont venues passer les expériences à l'hôpital Henry Gabrielle, où est situé le simulateur de conduite. Deux groupes de huit personnes âgées ont été constitués (training simulateur versus training ordinateur). Au total, 22 personnes âgées ont été volontaires, mais 6 ont été obligées d'arrêter après avoir ressenti le mal du simulateur. Le Tableau 7 récapitule les caractéristiques individuelles des personnes âgées selon leur groupe d'attribution et leurs scores à certains tests neuropsychologiques.

Tableau 7. Age, sexe, niveau socio-culturel et critères d'inclusion des sujets âgés

<b>Sujets</b>	<b>Sexe</b>	<b>Age (ans)</b>	<b>NSC<sup>1</sup></b>	<b>MMSE<sup>2</sup></b>	<b>BREF<sup>3</sup></b>	<b>BEC96<sup>4</sup></b>
Simu S1	M	66.33	3	30	17	96
Simu S2	M	71.00	2	30	17	94
Simu S3	M	72.17	2	30	18	94
Simu S4	M	72.50	3	30	18	96
Simu S5	F	75.67	1	30	17	92
Simu S6	M	78.33	3	29	18	92
Simu S7	M	70.58	1	28	18	96
Simu S8	M	66.00	3	30	18	95
<b>Moy ± ET Simu</b>		<b>71.57±4.20</b>		<b>29.63</b>	<b>17.63</b>	<b>94.38</b>
Ordi S1	M	71.83	2	30	16	89
Ordi S2	M	73.00	3	29	18	95
Ordi S3	M	75.75	1	30	18	95
Ordi S4	M	78.92	3	27	17	95
Ordi S5	F	70.00	2	30	18	93
Ordi S6	F	73.50	3	29	18	93
Ordi S7	F	66.42	2	25	16	94
Ordi S8	M	67.42	3	30	18	96
<b>Moy ± ET Ordi</b>		<b>72.11±4.16</b>		<b>28.75</b>	<b>17.38</b>	<b>93.75</b>

<sup>1</sup>Niveau Socio Culturel (1 : niveau d'études < CEP, 2 : niveau d'études entre CEP et BAC, 3 : niveau d'études > BAC)

<sup>2</sup> Mini Mental State Evaluation

<sup>3</sup> Batterie Rapide d'Efficiency Frontale

<sup>4</sup> Batterie d'Evaluation Cognitive

L'âge des 16 personnes âgées était compris entre 66 et 79 ans au moment de l'expérience ( $71.84 \pm 4$  ans). Il n'y a pas de différence significative entre les personnes âgées du groupe simulateur et celles du groupe ordinateur au niveau de l'âge ( $U=27$  ;  $Z=0.525$  ;

$p=.600$ ) et du niveau socio culturel ( $Khi^2=0.533$ ,  $p=.766$ ). Il en est de même pour les scores obtenus au MMSE ( $U=23$  ;  $Z=-1.090$  ;  $p=.276$ ), à la BREF ( $U=29$  ;  $Z=-0.366$  ;  $p=.714$ ) et à la BEC96 ( $U=27$  ;  $Z=-0.525$ ;  $p=.592$ ).

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le protocole expérimental s'est déroulé à la manière d'un parcours de soin dans l'enceinte de l'hôpital Henry Gabrielle : à l'entrée à l'hôpital, le patient était d'abord vu par l'équipe de soin pour un bilan fonctionnel ; ensuite, le neurologue ou le neuropsychologue jugeait des capacités du patient à effectuer le training. Lorsque le patient correspondait aux critères d'inclusion, alors l'étude lui était proposée. Pour terminer, une rencontre entre l'expérimentateur et le patient avait lieu afin de lui expliquer plus en détail le déroulement de l'étude.

Les participants débutaient par une évaluation pré-training, ensuite ils entraient dans la période d'entraînement d'une durée de trois semaines (training simulateur ou ordinateur), puis ils terminaient par une évaluation post-training (identique à l'évaluation pré).

Le bilan neuropsychologique avait lieu dans le bureau du neuropsychologue. Toutes les épreuves se déroulant sur simulateur de conduite s'effectuaient dans une pièce de l'hôpital Henry Gabrielle conçue à cet effet. Il s'agissait d'une pièce équipée d'un store électrique et d'un variateur de luminosité permettant de régler la lumière de manière constante pour améliorer la standardisation des résultats. De cette façon, la visibilité du patient n'était pas perturbée par la lumière du jour. La pièce était également insonorisée afin de limiter au maximum les artefacts (distracteurs visuels et/ou auditifs). Le training sur ordinateur s'effectuait également dans cette pièce sur un ordinateur portable Dell.

### 1. Évaluation pré-training

La méthode de rééducation comprenait une baseline multiple. Trois mesures pré-training étaient effectuées afin d'évaluer les déficits et leurs stabilités : une évaluation neuropsychologique, une évaluation sur simulateur de conduite et une évaluation sur route. Ainsi, chaque évaluation permettait de mesurer des variables bien différentes : des variables entraînées (sur simulateur), des variables non entraînées (tests neuropsychologiques) et des mesures évaluant le transfert en situation écologique (évaluation sur route). L'évaluation complète se déroulait durant une demi-journée (trois heures environ).

#### 1.1 Bilan neuropsychologique

La trame générale du bilan neuropsychologique était identique pour les deux populations. Ce bilan était centré sur la vitesse de traitement de l'information et l'attention. Tous les patients avec traumatisme crânien ont débuté par un questionnaire d'anosognosie (cf. annexe 7) pour mesurer le niveau de prise de conscience des troubles. La plupart des tests choisis sont connus pour être sensibles à des troubles spécifiques observés suite à un traumatisme crânien (Rousseaux, et al., 2002). Les performances cognitives des participants étaient évaluées par différentes batteries de tests dans l'ordre qui suit.

##### a) Trail Making Test (TMT)

Le TMT (Reitan, 1958) est un test de flexibilité réactive, qui fait également intervenir les capacités visuo-motrices. Il permet de mesurer la vitesse de traitement dans sa première partie (partie A) et la flexibilité mentale dans la deuxième partie (partie B). Dans la partie A,

le sujet doit relier à l'aide d'un crayon et par ordre croissant des nombres (de 1 à 25) disposés pseudo aléatoirement sur une feuille. Dans la partie B, il doit relier alternativement des chiffres et des lettres tout en tenant compte de l'ordre chronologique et alphabétique (1A-2B, etc). La variable mesurée est le temps de réaction en milliseconde. Les normes utilisées pour l'évaluation de la performance sont celles du Grefex (2001).

b) Stroop (version GREFEX)

Le test de Stroop (Stroop, 1935) évalue les capacités d'inhibition de processus automatiques. Il est constitué de trois planches sur lesquelles se trouvent dix lignes et dix items par ligne, soit cent items au total. Il est composé de trois conditions expérimentales : une condition de dénomination, une condition lecture et une condition interférence. Dans la première condition, le participant doit dénommer la couleur de l'encre de rectangles (vert, rouge ou bleu). Dans la deuxième condition, il doit lire des mots écrits en noir (ce sont des noms de couleurs : rouge, bleu et vert). Enfin, dans la dernière condition le participant ne doit pas lire le mot (inhibition du processus automatique) mais nommer la couleur de l'encre dans laquelle le mot est écrit (par exemple pour l'item : rouge, la réponse est : bleu). Les résultats permettent d'obtenir le nombre d'erreurs (corrigées ou non) du participant ainsi que le temps mis pour les cent items et pour chaque condition.

c) Le Mesulam

Il s'agit d'un test de barrage (Mesulam, 1985) qui mesure l'attention sélective et l'exploration visuelle. Le participant doit chercher et barrer une cible (un cercle étoilé) dispersée sur une feuille A4 au milieu de distracteurs (autres symboles). Dans une première partie les items sont désorganisés sur la feuille, c'est donc au sujet de trouver une stratégie d'exploration visuelle. En revanche, dans la deuxième partie les items sont organisés (de manière linéaire), ce qui facilite l'exploration visuelle et devrait permettre de diminuer les omissions. Il s'agit d'être le plus rapide possible pour trouver toutes les cibles car l'épreuve est chronométrée, sans en oublier pour autant. Les variables de mesures sont donc le temps de réponse et le nombre d'erreurs d'omission.

d) WAIS-III "Arithmétique"

Il s'agit d'un subtest de la Wechsler Adult Intelligence Scale III (Wechsler, 1997). C'est une épreuve orale de résolution de problèmes arithmétiques. La mémoire de travail est aussi impliquée dans la réalisation de ce test. Ce sub-test permet de mesurer les connaissances acquises et les capacités de traitement séquentiel.

Le sub-test « arithmétique » a été administré comme mesure de contrôle, dans l'unique but de vérifier les capacités de calcul mental des participants pour être sûr qu'ils ne soient pas en trop grande difficulté lors du training. En effet, lors du training sur simulateur de conduite, le participant effectuait une tâche de calcul mental tout en conduisant.

e) Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT)

Le PASAT (Gronwall, 1977) permet d'évaluer la capacité de traitement de l'information, l'attention soutenue et l'attention partagée. Elle permet également d'appréhender les capacités de mémoire de travail d'un individu, puisqu'elle fait appel simultanément aux capacités de maintien, de mise à jour, d'inhibition et de traitement d'informations en mémoire à court terme. Le sujet écoute ainsi une bande audio sur laquelle est présentée une série aléatoire de 61 chiffres variant de 1 à 9 (par exemple, " 1, 9, 4, 5 ... "). La tâche du participant est d'additionner des paires de chiffres de façon à ce que chaque chiffre soit additionné avec le chiffre précédent de la série. Après chaque addition, le sujet doit produire verbalement une réponse. Il doit d'abord additionner la première paire de chiffres (par exemple, "1 et 9") et

fournir la réponse (" 10 "), puis additionner la seconde paire de chiffres de la série (le " 9 " avec le " 4 ") et émettre à nouveau une réponse (" 13 "), et ainsi de suite jusqu'à la fin de la série. La même série de 61 chiffres est présentée à quatre reprises à un rythme de présentation d'un item toutes les quatre secondes. Les variables de mesures sont le nombre de bonnes réponses et le nombre d'erreurs (télescopage, calcul, non-réponse).

f) *Test d'Evaluation de l'Attention informatisé (TEA)*

Afin de compléter cette évaluation neuropsychologique composée de tests « papier-crayon », il nous a semblé pertinent d'utiliser une batterie informatisée. L'ordinateur tient une place importante dans l'évaluation des troubles de l'attention. En effet, certains processus attentionnels sont de courte durée et ne peuvent être mesurés qu'en millisecondes (comme par exemple, l'alerte phasique).

La TEA est une batterie modulaire et hiérarchisée, traduite, standardisée et adaptée en différentes langues. Elle a été conçue par Zimmermann et Fimm (et adaptée en français par North et al., 1994).

Nous avons sélectionné quatre sub-tests de la batterie parmi les douze proposés (alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée). D'une part, ces quatre sub-tests permettent de mesurer les quatre composantes attentionnelles du modèle théorique précédemment décrit (Van Zomeren & Brouwer, 1994). D'autre part, nous voulions une évaluation rapide de l'attention, nous ne pouvions donc effectuer l'intégralité de la batterie (d'une durée de trois heures).

- **Alerte phasique :** Cette épreuve évalue la vitesse de traitement de l'information et les capacités d'alerte du participant. La tâche consiste à répondre à un stimulus visuel (une croix) précédé ou non d'un signal auditif. Deux temps de réponse sont enregistrés : en condition avec avertisseur sonore (A) et sans avertisseur sonore (B). La passation se déroule d'après un schéma de type ABBA.

En plus des mesures classiques, un score d'index d'alerte phasique est également calculé. Il s'agit de la comparaison des TR moyens avec et sans avertisseur, selon la formule suivante :

$$\text{Index d'alerte} = \frac{\text{Médiane TR sans avertisseur} - \text{Médiane TR avec avertisseur}}{\text{Médiane de tous les TR}}$$

- **Vigilance :** L'objectif est de mesurer la capacité d'un sujet à soutenir son attention durant de longues périodes de temps (période de trente minutes par exemple). Parmi les quatre épreuves de vigilance proposées, nous avons choisi d'étudier la vigilance visuelle (version simple) car 90% des informations traitées par le conducteur sont visuelles (Simms, 1985). On présente au sujet, au centre de l'écran, une barre horizontale qui se déplace de façon régulière du haut vert le bas avec une oscillation de 1.8 centimètres. Par moment, l'amplitude de la déviation de la barre est nettement plus marquée (3.5 cm). Le sujet doit appuyer sur la touche réponse dès qu'il perçoit cette différence d'amplitude. Nous avons choisi une fréquence d'apparition des stimuli faible afin de rendre le test le plus monotone possible. Enfin, nous avons paramétré une durée de 30 minutes (versus une heure) pour éviter la fatigabilité souvent présente chez les patients avec traumatisme crânien. Le temps de réponse représente notre variable d'intérêt.

- **Go/No Go :** Cette épreuve mesure l'attention sélective. Elle permet d'évaluer la capacité du sujet à inhiber sa réaction lorsque le stimulus n'est pas pertinent et de mesurer la

vitesse de traitement de l'information cible. Nous avons utilisé la version simple du test comprenant deux stimuli (une croix et un plus) et une seule cible (le plus) apparaissant sur l'écran. La tâche consistait à appuyer sur une touche dès l'apparition du plus et ne pas appuyer lors de l'apparition de la croix. La mesure d'attention sélective est la différence entre le temps de réaction simple (enregistré avec le test d'alerte phasique sans avertisseur sonore) et le temps de réaction en tâche de go/no-go.

- **Attention divisée :** Ce sub-test utilise des doubles tâches au cours desquelles le sujet doit intégrer simultanément deux types de stimulations. Le sujet est soumis à la fois à une tâche visuelle et auditive. Concernant la tâche visuelle, il s'agit d'une matrice de 10 x 10 cm présentée pendant 2 secondes, 16 points sont présentés avec 7 petites croix surajoutées de façon aléatoire. La tâche du sujet est de détecter un carré formé par quatre croix. Concernant la tâche auditive, le sujet doit détecter les irrégularités dans l'alternance de deux sons : un aigu (2000 Hz) et un grave (1000 Hz). Les deux types de tâches sont d'abord réalisés isolément (test A : carrés ; test B : sons), puis présentés de manière simultanée (test A + B). Il est demandé au sujet de répondre le plus rapidement possible en appuyant sur une touche. Les mesures dépendantes sont représentées par le temps de réponse et le nombre d'erreurs.

## 1.2 Évaluation sur simulateur de conduite

### a) Caractéristiques du simulateur de conduite

Après avoir effectué l'intégralité du bilan neuropsychologique, les participants réalisaient une évaluation sur un simulateur de conduite installé par l'INRETS à l'hôpital Henry Gabrielle. L'expérimentation s'est déroulée sur le mini-simulateur de conduite INRETS dont les principales caractéristiques sont :

- Simulateur à base fixe : pas de sensations proprioceptives contrairement à la conduite d'un vrai véhicule.
- Cabine : elle comprend un poste de conduite de type EF-X Faros, des capteurs sur volant, un pédalier, un levier de vitesse, commodos, retour d'effort au volant et un frein à main.
- Image avant : les images sont projetées sur cinq écrans LCD de 22'', ce qui représente 180° de champ visuel (cf. annexe 8 : Configuration des écrans du simulateur).
- Image arrière : la projection des rétroviseurs (central et gauche) est incrustée dans les images de la scène avant.
- Son en quadriphonie : bruits internes au véhicule (moteur, bruits aérodynamiques, roulement, démarreur) et bruits externes spatialisés de trafic.
- Logiciels : l'ensemble de la simulation, environnement visuel et sonore, échanges d'informations avec la cabine, scénario, enregistrement, modélisation du trafic, etc., est géré par les logiciels ARCHISIM et SIM<sup>2</sup> créés par le LEPSIS-INRETS.
- Equipement d'enregistrement vidéo : format DVCAM, moniteur de contrôle avec une mosaïque quatre vues. L'intérieur de la cabine est pourvu de caméras qui permettent d'enregistrer le comportement du conducteur (regards, mouvements du volant,...).
- Equipement audio : enregistrement du son du véhicule et du passager à l'aide de deux micros d'ambiance.



Figure 3. Vues du simulateur INRETS installé à l'hôpital Henry Gabrielle

La Figure 3 rend compte du dispositif expérimental utilisé à l'hôpital Henry Gabrielle. Les vues montrent la cabine du simulateur après équipement des cinq écrans d'ordinateur. Aucun appareillage n'était porté par les sujets à l'exception d'un micro-casque lors de tâches requérant une réponse verbale. Les participants devaient conduire le simulateur tout en répondant aux requêtes de l'expérimentateur.

Les participants débutaient par un scénario de « prise en main » afin de se familiariser avec le simulateur de conduite (cf. annexe 9 : Consignes prise en main). Ensuite, l'évaluation était réalisée (trente minutes). Elle était subdivisée en deux scénarios (parcours) d'environ quinze minutes chacun pour limiter la fatigue des participants. Leurs performances étaient évaluées sous différentes contraintes temporelles : le parcours 1 était réalisé sur autoroute et route nationale alors que le parcours 2 se déroulait en centre ville. Les participants devaient adapter leur vitesse en fonction des limitations et du type de route rencontré. Les consignes recommandaient de rouler le plus naturellement possible et surtout de réagir de la même façon qu'ils l'auraient fait sur route réelle.

L'analyse des données a été réalisée a posteriori grâce au « dépouillement » des vidéos enregistrées durant l'évaluation. Le « dépouillement » consistait à visionner les enregistrements de chaque participant et à remplir une grille de cotation permettant de quantifier les performances de conduite sur simulateur. Deux grilles de conduite ont été développées pour permettre d'obtenir un score de conduite sur simulateur de conduite pour le parcours 1 et le parcours 2 (détaillées ci-après).

#### b) Parcours 1

Lors du parcours 1, les participants devaient conduire en suivant les indications de directions données par l'expérimentateur et réaliser une tâche attentionnelle (cf. annexe 10 : Consignes pour l'évaluation parcours 1). Ils étaient également confrontés à une situation mettant en jeu l'attention, une situation d'anticipation et de réactivité, et une situation impliquant une dimension comportementale. Ces situations n'étaient pas étudiées de façon indépendante mais considérées globalement, compte-tenu du nombre d'occurrences.

La tâche attentionnelle consistait à comptabiliser les panneaux « interdit de tourner à droite » répartis sur l'intégralité du parcours (N=5), qui représentaient les stimuli cibles (mise en jeu de l'attention sélective). Des panneaux « interdit de tourner à gauche » (N=4) représentaient les distracteurs. Au préalable, une planche avec les panneaux était présentée aux participants pour éviter toute confusion.

Durant la conduite, les participants étaient confrontés à la survenue d'obstacles (cônes de travaux) apparaissant subitement sur la voie de droite (mise en jeu de l'alerte). Ces cônes



apparaissaient brusquement 40 mètres devant le sujet (une seule fois durant le parcours). Dans le cas où le participant roulait à 90km/h (par exemple), les obstacles apparaissaient 800 ms avant la confrontation. Aucune consigne concernant cette situation n'était spécifiée, excepté le fait que les participants étaient prévenus de certaines situations dangereuses.

Dans ce scénario de conduite, le participant se fait doubler par une voiture à deux reprises, lorsqu'il roule sur l'autoroute en début de parcours et en fin de parcours sur la route nationale. Le type de rabattement de la voiture était programmé dans le scénario pour être de type « queue de poisson ». L'objectif était d'observer la réactivité et l'anticipation du participant, qui pouvait soit freiner à temps soit provoquer une collision. Aucun accident n'était réellement possible sur le simulateur de conduite, nous avons fait en sorte que la voiture du participant passe à travers les autres véhicules en cas de collision ; ceci pour éviter une réminiscence de l'étiologie de leur traumatisme, qui pour la plupart était dû à un accident de la route.

Enfin, lorsque le participant conduisait sur la route nationale, il était confronté à un camion qui roulait à 40km/h juste devant lui. Il s'agissait d'une route avec une ligne blanche continue, le participant n'était donc pas autorisé à doubler le camion (mise en jeu de la composante comportementale). Au début, le participant était volontairement laissé sans indication, puis un panneau lui signalait une portion de voie permettant de doubler à 300 mètres. Aucune consigne n'était mentionnée.

Une grille de cotation a été développée pour quantifier la performance de conduite globale sur simulateur de conduite (cf. annexe 11). Neuf situations de conduite (intersections, ronds-points, situation comportementale...) ont été évaluées à partir de trois variables totalisant 27 points :

- **Réussite** (9 points) : la performance du sujet était cotée en termes de réussite ou échec. Si le patient réagissait correctement à la consigne (respect de l'indication de direction, freinage en situation dangereuse...) alors on lui accordait 1 point, sinon 0.
- **Exploration visuelle** (9 points) : dans chaque situation, on observait le regard du participant : s'il faisait un contrôle visuel dans son rétroviseur on lui accordait 0.5 point, s'il faisait deux contrôles visuels 1 point et 0 point s'il ne vérifiait pas ses rétroviseurs.
- **Adaptation de la vitesse** (9 points) : un point était accordé au participant lorsque sa vitesse était adaptée à la situation à laquelle il était confronté (décélération à l'approche d'une intersection, respect des limitations en centre-ville et autoroute...).

#### c) Parcours 2

Le deuxième parcours avait lieu en centre-ville, il comprenait de nombreuses intersections et feux tricolores. Les instructions mentionnaient en plus des directions à suivre, deux tâches attentionnelles spécifiques (cf. annexe 12 : Consignes de passation) :

**Mise en jeu des mécanismes d'alerte** : parfois des véhicules étaient en stationnement sur la voie de droite, certains d'entre eux pouvaient avoir leur portière qui s'ouvrait subitement. La tâche du participant consistait alors à freiner le plus rapidement possible. On enregistrait un temps de réponse qui nous permettait de quantifier le temps mis par le participant pour percevoir et réagir face au danger.

**Mise en jeu des mécanismes d'attention divisée** : le parcours en ville comprenait deux passages au même endroit. Le participant effectuait deux fois ce même trajet mais dans des conditions expérimentales différentes (deux minutes à chaque fois) : en simple tâche (premier passage) et en double tâche (deuxième passage). La simple tâche consistait simplement à conduire et suivre les directions données par l'expérimentateur. En double tâche, le participant conduisait et devait en même temps répondre à des questions posées par l'expérimentateur (cf. annexe 13 : Discussion). Il s'agissait d'un questionnaire semi-dirigé,

assez couteux d'un point de vue attentionnel, étant donné qu'il mettait en jeu la mémoire de travail. L'utilisation de ce type de questionnaire lors d'une double tâche a déjà fait ses preuves lors d'un précédent travail (Masson, 2007). La dégradation de la performance de conduite en double tâche a été mesurée à l'aide de plusieurs variables établies dans une nouvelle grille de cotation.

La grille de cotation utilisée pour le parcours 2 était similaire à la grille du parcours 1, à l'exception de deux variables supplémentaires. Le parcours 2 comprenait 32 situations. Les trois premières variables de la grille de cotation ont pu être observées dans toutes les situations. En revanche, les deux autres variables n'ont pu être observées que dans un nombre restreint de situations de conduite. Le score total était de 133 points, rapporté ensuite sur une échelle de 100 points.

- Échec/réussite (32 points)
- Exploration visuelle (32 points)
- Adaptation de la vitesse (32 points)
- **Respect de la signalisation** (25 points) : il s'agissait ici de vérifier si le participant prenait en considération tous les panneaux de la signalisation et les feux tricolores. Un score de 0 lui était attribué dans les conditions suivantes : ne pas s'arrêter au cédez-le-passage, griller un feu orange ou un feu rouge, ne pas laisser la priorité à droite...

- **Placement de voie** (12 points) : des flèches blanches au sol indiquaient au participant où se placer en fonction de la direction à suivre. Ainsi, à l'approche de feux tricolores, il pouvait s'orienter soit sur la voie de droite, soit sur la voie de gauche. Lorsque le participant devait se diriger à droite ou à gauche, le choix de file était évident ; par contre lorsqu'il devait aller tout droit, la flèche était parfois positionnée sur la voie de droite et parfois sur la voie de gauche, nécessitant un changement de file de la part du participant. Un point lui était accordé lors du respect des flèches au sol.

En parallèle à la cotation de cette grille, d'autres mesures ont été recueillies grâce aux données enregistrées sur le simulateur de conduite : les temps de réponse lors des situations d'ouvertures de portières. Trois temps de réponse moyens ont été calculés, un TR global moyen, un TR moyen en simple tâche (seulement pour les deux ouvertures de portières lors du trajet simple tâche) et un TR moyen en double tâche (seulement pour les deux ouvertures de portières lors du trajet double tâche). Enfin, le coût de la double tâche était effectué en soustrayant le TR moyen de la simple tâche à celui de la double tâche.

### 1.3 Évaluation sur route

Suite au bilan neuropsychologique et l'évaluation sur simulateur de conduite, le participant entrait dans la dernière étape de l'évaluation pré-training : l'évaluation sur route réelle. Le déroulement de cette étape différait légèrement selon le groupe de participants (patients traumatisés crâniens ou personnes âgées).

Concernant les patients traumatisés crâniens, c'est le véhicule de l'hôpital Henry Gabrielle qui a été utilisé. Il s'agit d'une voiture d'auto-école équipée d'une boîte automatique, de double commandes, double rétroviseurs et répétiteur des commandes, de clignotants, avertisseur et éclairage. Les observations de conduite ont été effectuées par le moniteur auto-école salarié de l'hôpital Henry Gabrielle. Avant de débiter l'évaluation proprement dite, les patients traumatisés crâniens commençaient par une mise en situation lors d'un essai de conduite « intra-muros » réalisé dans l'enceinte de l'hôpital Henry Gabrielle (cf. annexe 14 : Essai intra-muros). Il s'agissait d'une phase de familiarisation durant laquelle on évaluait l'habileté du participant à exécuter des tâches opérationnelles basiques motrices sur

le véhicule et à suivre des instructions. Après cette première phase de test, le moniteur décidait de la possibilité pour le participant de continuer le protocole et faire l'évaluation sur route réelle (on-road). Le trajet routier de l'évaluation sur route a été établi au préalable avec le moniteur. Il s'effectuait en dehors de l'hôpital et incluait différentes situations telles que : des zones urbaines, des zones périurbaines, autoroute avec insertions (ou voie express) et des intersections de toutes sortes. Le même parcours a été effectué par tous les participants.

Concernant les personnes âgées, c'est une auto-école indépendante de l'hôpital qui a collaboré à l'étude (Auto-école OUEST). Le véhicule était équipé d'une boîte à transmission manuelle. Les personnes âgées ont directement commencé l'évaluation sur route réelle, sans passer par la phase en circuit « intra-muros », puisque dans ce cas il ne s'agissait pas d'une reprise de la conduite automobile.

Afin d'éviter la variabilité inter-examineur, tous les patients ont été évalués par le même moniteur d'auto-école (moniteur de l'hôpital) et toutes les personnes âgées par le même moniteur de l'auto-école OUEST. Toutes les évaluations ont été réalisées dans des conditions météorologiques favorables (pas d'averse, de grand vent, ni de neige...).

Les deux moniteurs d'auto-école ont évalué les performances de conduite des participants à l'aide d'une grille d'évaluation de la compétence de conduite automobile : Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive (TRIP, version de Brouwer 2004, qui est une version modifiée de De Raedt, 2000). Cette grille est constituée de onze variables qui caractérisent les performances de conduite du participant en fonction des situations rencontrées (cf. annexe 15) :

- la position latérale sur la route (43 points) : position moyenne, stabilité de la trajectoire, évaluation du choix de file.
- la distance de sécurité (11 points) : style de suivi de véhicule, adaptation des distances de sécurité en fonction de la vitesse des véhicules qui précèdent.
- l'adaptation de la vitesse (11 points) : choix de vitesse, adaptation de la vitesse en fonction des circonstances.
- l'exploration visuelle (52 points) : en général, regards d'anticipation, qualité des regards à gauche et à droite.
- la signalisation (8 points) : perception et réaction aux signaux.
- le dépassement (8 points) : perception de l'environnement et réaction.
- l'anticipation (8 points) : en fonction des changements de situation.
- la communication (8 points) : avec les autres conducteurs, les piétons.
- les situations particulières (64 points) : le tourne-à-gauche, les insertions dans le trafic.
- les opérations mécaniques (12 points) : utilisation de l'accélérateur, frein et volant.
- les impressions générales (12 points) : capacités de conduite, maniement de la voiture, perception du trafic...

Le score total brut est de 237 points, ce score est ensuite rapporté sur une échelle de 100 points.

La grille TRIP permet aussi de calculer des scores correspondant aux différents niveaux hiérarchiques décrits dans le modèle de la conduite de Michon (cf. modélisation de la conduite p.37). Ainsi, il est possible de calculer un score d'implication du facteur opérationnel et du facteur tactique, et un score de compensation tactique selon des formules établies par De Raedt (2000). Le score opérationnel consiste à ajouter le score obtenu à l'échelle opérations mécaniques (échelle 10) au score obtenu au sous-item position latérale moyenne (échelle 1.1) et stabilité de la trajectoire (échelle 1.2). Le score tactique consiste à faire la somme des quatre échelles suivantes : choix de file (échelle 1.3), distance de sécurité (échelle 2), vitesse

(échelle 3), anticipation (échelle 7). Enfin, le score de compensation tactique résulte de la formule suivante : (distance de sécurité) + (vitesse) + (anticipation / 8 \* 10) (De Raedt, 2000).

## 2. Training attentionnel

Les participants étaient répartis en deux groupes de training attentionnel : certains bénéficiaient d'un training de l'attention sur simulateur de conduite, alors que d'autres l'effectuaient sur ordinateur. Quel que soit le type de training effectué, les participants étaient entraînés sur les quatre mêmes processus attentionnels (selon le modèle de Van Zomeren & Brouwer, 1994) : l'attention sélective, l'attention divisée, l'alerte phasique et la vigilance.

### 2.4 Training avec simulateur de conduite

Une fois le modèle attentionnel choisi (Van Zomeren & Brouwer, 1994), les conditions expérimentales spécifiques à chaque scénario ont été clarifiées. C'est ce que l'on nomme « l'étape de conceptualisation des scénarios ». Ensuite, le développement informatique a permis de concrétiser les scénarios. Quatre scénarios attentionnels distincts (dix minutes chacun) ont été programmés pour être « joués » sur le simulateur de conduite (cf. annexe 16 : Consignes de passation). Nous détaillerons donc dans cette section de chapitre chaque scénario du training (étape de conceptualisation), puis nous verrons les caractéristiques principales de la programmation informatique (étape de développement).

#### a) Alerte phasique

L'alerte phasique réfère à la capacité de se préparer à l'action grâce à la prise en considération d'un stimulus avertisseur. Le scénario d'alerte phasique était scindé en deux parties : une première partie sans stimulus avertisseur et une deuxième partie où le participant était prévenu de la survenue de l'obstacle via un signal visuel (Figure 4).

Lors du scénario d'alerte phasique, le participant était confronté à des obstacles qui surgissaient brusquement sur la route. Sa tâche consistait à réagir le plus rapidement possible en appuyant sur la pédale de frein dès l'apparition de l'obstacle. Un triangle rouge apparaissait au centre de l'écran pour alerter le participant de la survenue imminente d'un danger (obstacle).

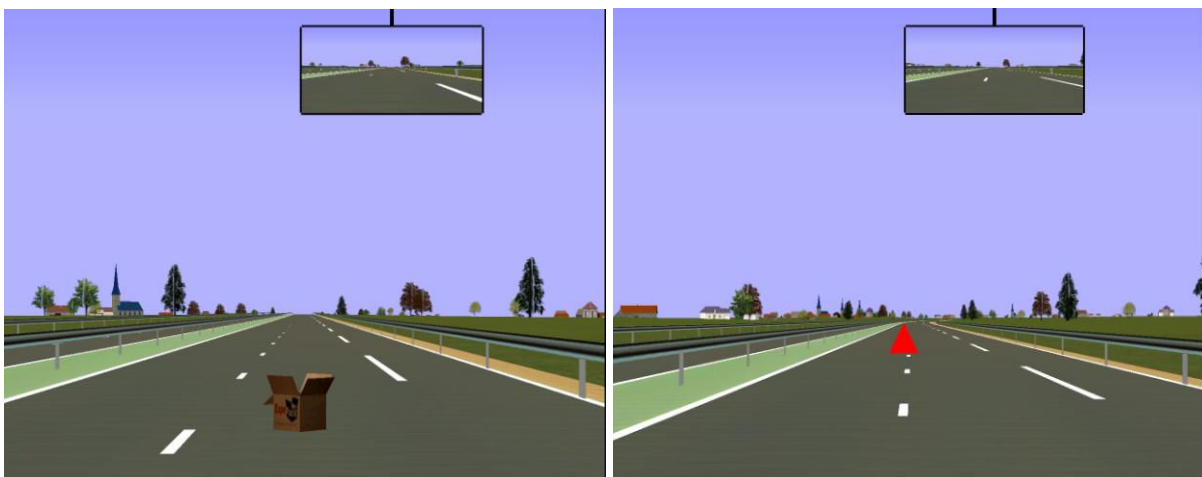


Figure 4. Vues de la tâche d'alerte phasique sur simulateur

Sur la Figure 4, la vue de gauche représente la condition sans avertisseur au cours de laquelle le participant devait freiner à l'apparition de l'objet (carton, par exemple). La vue de droite représente la condition avec avertisseur lors de laquelle un triangle rouge apparaissait juste avant la survenue du carton.

### Caractéristiques du scénario d'alerte phasique :

- Nombre de parties : deux parties : condition sans avertisseur visuel et condition avec avertisseur (triangle). Chaque partie durait 5 minutes, soit 10 minutes au total.
- Type de route : 2\*2 voies sur autoroute (limitée à 110 km/h), impliquant une certaine pression temporelle.
- Trafic : pas de trafic sur la voie du sujet, ni sur la voie opposée
- Vitesse de conduite : on demandait au sujet de maintenir la vitesse aux alentours de 80km/h pour éviter un ralentissement du véhicule qui aurait pu entraîner une apparition plus longue de l'obstacle.
- *L'avertisseur* : il était visuel et non sonore pour être au plus près d'une situation réelle de conduite et donc favoriser la transférabilité. Il s'agissait d'un triangle rouge de danger, placé au milieu de l'écran en bas (sur la route). L'amorce disparaissait toute seule et son temps d'apparition était d'une demi seconde.
- *Temps d'alerte* (=délai entre avertisseur et obstacle) : l'état de préparation optimale se situe entre 500 et 800 ms (Leclercq & Zimmermann, 2000). Ainsi, nous avons décidé de faire varier aléatoirement le temps d'alerte selon 5 modalités : 100ms, 300ms, 500ms, 1000ms, et 1500ms. La randomisation du temps d'alerte était effectuée en intra-bloc. Chaque essai avait donc un temps d'amorce différent par rapport au précédent.
- Les obstacles : les mêmes obstacles ont été utilisés pour les deux parties et présentés de manière aléatoire. Ils surgissaient au milieu de l'écran et apparaissaient 20 mètres devant le véhicule du participant. Tous les obstacles étaient des objets statiques afin d'éviter tout contenu émotionnel (pas de piétons ou d'animaux par exemple). Les obstacles d'une même série avaient tous la même saillance (même couleur et même taille). Cinq séries de quatre obstacles ont été créées pour varier les sessions de training (cf. annexe 17). Les obstacles restaient sur la route jusqu'à ce que le participant réponde (appui sur le frein) ou dépasse l'obstacle.
- *Nombre d'essais* : 5 essais pour chacune des modalités du temps d'amorce, soit 25 essais au total.
- Intervalle Inter-Stimuli (ISI) : dans la première partie sans avertisseur l'ISI correspond à l'intervalle entre les différents obstacles à éviter. Il est variable pour éviter l'automatisation de la réponse ( $10 \pm 3$ sec). Dans la deuxième partie avec avertisseur, il correspond à l'intervalle entre l'obstacle et l'amorce qui suit. Il est fixe (10 sec) étant donné qu'il y a déjà une variabilité du temps d'amorce.
- Neuf sessions différentes : les obstacles diffèrent d'une session à une autre.
- Difficulté de la tâche : elle est conditionnée par le changement du temps d'amorce.
- Paradigme expérimental : Il s'agit d'un paradigme de type événementiel : dans la partie A, les événements sont espacés par des ISI de durées variables et dans la partie B par des intervalles longs et constants (Figure 5).
- Variable dépendante : TR (en ms) calculé entre l'apparition de l'obstacle et l'appui sur la pédale de frein (d'au moins 25%).

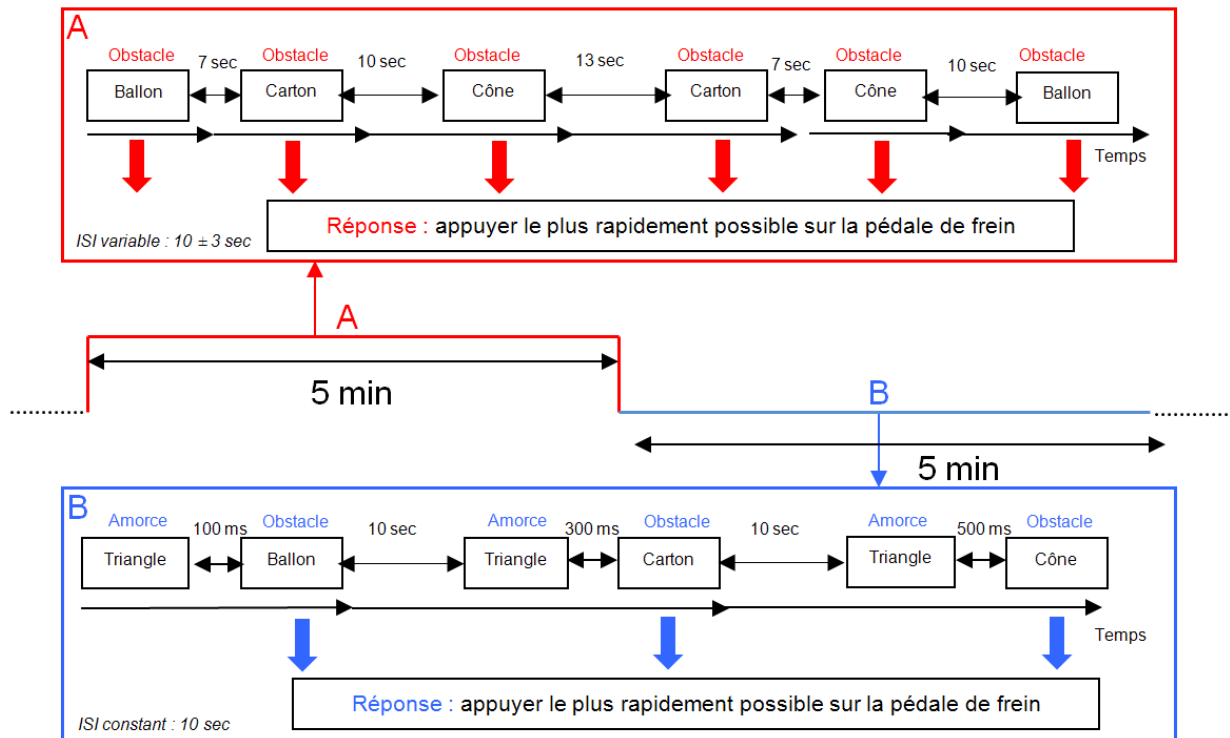


Figure 5. Paradigme expérimental de la tâche d'alerte phasique

b) Vigilance

Selon Parasuraman et al. (1998) il est possible d'observer des fluctuations de la vigilance en cinq minutes sous certaines conditions strictes. La condition indispensable serait la dégradation de l'image (Nuechterlein, et al., 1983). Le scénario de vigilance sur simulateur de conduite respectait cette condition, le stimulus cible étant difficilement perceptible. Le déclin de la vigilance (decrement vigilance) peut être mesuré de deux façons : par un déclin dans le temps du taux de détection de cible, ou par une augmentation des temps de réponse pour la détection de cette cible (Parasuraman et al., 1998). Ainsi, nous avons pris comme variables dépendantes le nombre d'omissions et le temps de réponse.

Dans le scénario de vigilance, le participant conduisait sur une route assez monotone, le trafic était faible et l'intervalle inter-véhicule était stable, de façon à renforcer la monotonie de la tâche. Il était au volant du simulateur et suivait une voiture qui parfois freinait et reprenait ensuite une allure normale. Le participant avait son pied sur l'accélérateur comme position de base et sa tâche consistait à donner un appui sur la pédale de frein le plus rapidement possible lorsque le véhicule placé devant freinait (Figure 6 vue de droite). Il s'agissait d'une situation de temps de réaction dynamique puisque le participant devait rouler et suivre un véhicule qui se déplaçait à la même vitesse que lui. Le faible éclairage des feux arrière s'éteignait à la réponse du participant via l'appui sur la pédale.

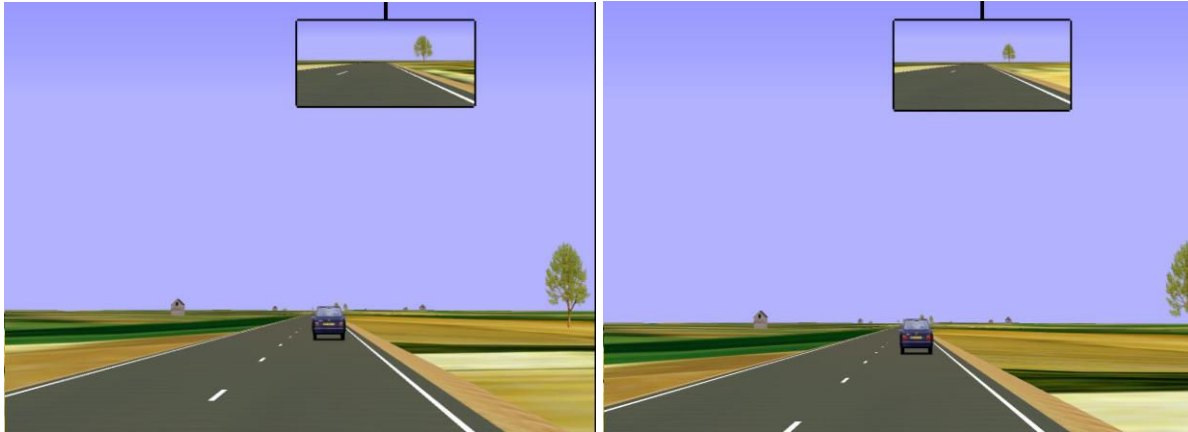


Figure 6. Vues de la tâche de vigilance sur simulateur

Dans la Figure 6, les feux du véhicule sont allumés sur la vue de droite et éteints sur la vue de gauche.

#### Caractéristiques du scénario de vigilance :

- Nombre de parties : une seule partie de 10 minutes.
- Type de route : 2\*1 voie, milieu rural (limité à 90km).
- Trafic : une seule voiture sur la même voie, placée à 50 mètres devant le propre véhicule du participant. Il s'agissait d'un véhicule asservi, c'est-à-dire qu'il roulait à la même allure que la voiture du participant (il est donc impossible de le doubler).
- Vitesse de conduite : pas d'instruction particulière.
- Frein : l'essai était considéré comme réussi lorsqu'on enregistrait un appui d'au moins 25% sur la pédale de frein.
- Nombre d'essais : il y avait 12 stimuli au total (+ 2 essais), le participant devait donc seulement freiner 12 fois.
- ISI : l'intervalle inter-stimuli correspondait au délai entre les différents coups de frein de la voiture. Il était variable (40, 50 ou 60 secondes) et réparti selon un ordre aléatoire.
- Neuf sessions différentes : le décor et les voitures différaient d'une session à une autre.
- Difficulté de la tâche : la difficulté résidait dans la monotonie de la tâche à effectuer mais la tâche ne comportait pas plusieurs niveaux de difficulté.
- Variable dépendante : TR (en ms) calculé entre le moment où la voiture de devant freinait et l'appui sur la pédale de frein du participant.

#### c) Attention sélective

L'attention sélective est la capacité à sélectionner l'information pertinente pour la tâche parmi toutes les informations disponibles dans l'environnement. La tâche d'attention sélective sur simulateur de conduite consistait alors à détecter un panneau cible parmi des panneaux distracteurs éparpillés dans l'environnement. Ce scénario comprenait un décor principalement urbain puisque la tâche portait sur des panneaux de signalisation. Sur la partie centrale supérieure de l'écran (à gauche du rétroviseur central), un emplacement stable était dédié à une image : celle d'un panneau routier dit « cible » ou « modèle ». Il s'agissait de détecter ce panneau dans l'environnement routier. Le participant conduisait le simulateur et se trouvait confronté régulièrement à deux panneaux routiers positionnés de chaque côté de la route. Les panneaux pouvaient être simples ou triples. (Figure 7).

À l'approche des panneaux, la cible apparaissait en haut de l'écran et la tâche consistait à la repérer dans l'environnement. Autrement dit, le participant devait regarder

l'information pertinente (le modèle) puis observer l'environnement routier afin d'identifier si un des deux panneaux correspondait à l'identique au modèle. Il devait répondre à la question : « la cible était-elle présente ? » et indiquer la position du panneau-cible sur l'écran (« non », « oui droite », ou « oui gauche »). Le panneau-modèle restait affiché à l'écran pendant la durée d'apparition des autres panneaux. De nouveaux apparaissaient ensuite à l'écran avec une nouvelle cible.

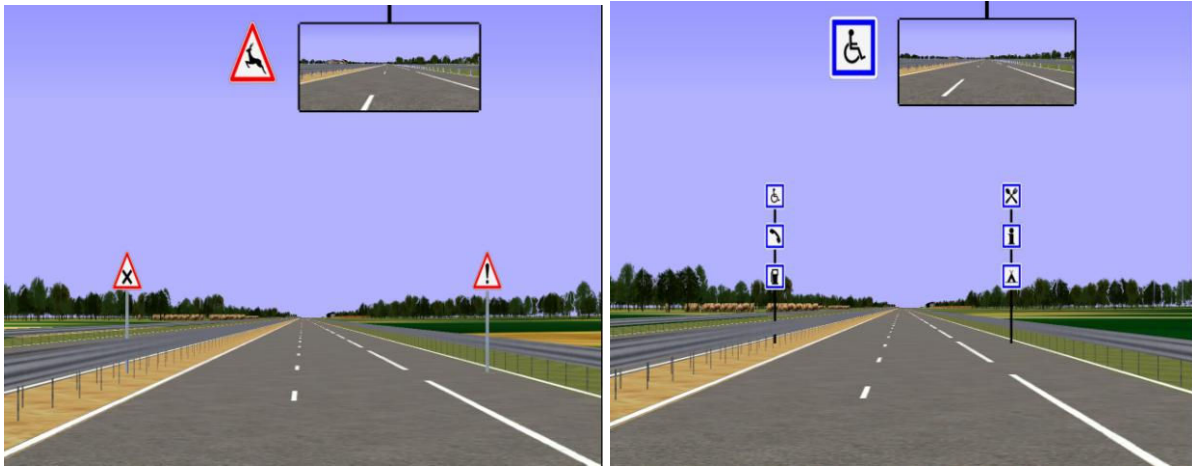


Figure 7. Vues de la tâche d'attention sélective sur simulateur

#### Caractéristiques du scénario d'attention sélective :

- Nombre de parties : une seule partie de 10 minutes.
- Type de route : 2\*2 voies, sur autoroute (limitée à 110km/h).
- Trafic : il n'y avait volontairement aucun trafic puisque l'objectif était de tester la distraction provenant des panneaux distrayeurs et non d'éventuels véhicules rencontrés.
- Vitesse de conduite : le participant devait rouler à environ 70km/h afin d'induire une pression temporelle et surtout éviter qu'il s'arrête devant les panneaux pour faciliter sa réponse. De plus, le véhicule était bridé à 80km/h de façon à uniformiser la vitesse entre les participants.
- Panneaux *de l'environnement* : ils étaient positionnés de chaque côté de la route (apparition aléatoire) et à la même distance : 50 mètres devant le véhicule piloté. Il y avait deux variables avec deux modalités chacune :
  - Nombre de panneaux de l'environnement : deux ou six (saillance faible/forte)
  - Similarité des distrayeurs avec la cible : ressemblance ou dissimilarité
- Cible (=panneau-modèle) : il s'agissait de panneaux créés sans poteau qui changeaient à chaque essai. Le panneau-modèle se situait à un emplacement précis (rétroviseur), lieu de regard habituel d'un conducteur. Il apparaissait 4 secondes après l'apparition des panneaux de l'environnement, pendant 3 secondes. La cible apparaissait à droite pour la moitié des essais et à gauche pour l'autre moitié. Il y avait une variable avec deux modalités : cible présente ou absente.

Remarque : lorsque la cible était présente, les distrayeurs étaient toujours dissimilaires pour avoir une certitude quant à la justesse de leurs réponses. En effet, une réponse positive n'aurait pas permis de déterminer s'ils avaient vu la cible ou le distracteur similaire.

- *Nombre d'essais* : 20 essais avec présence de la cible et 40 essais avec absence de cible.
- *ISI* : correspond à l'intervalle entre la fin d'apparition des panneaux de l'environnement et l'apparition du modèle-cible suivant : il est de 10 secondes.
- Neuf sessions différentes : changement des panneaux-modèles et des panneaux de l'environnement d'une session à une autre.



- Difficulté de la tâche : variation du niveau de difficulté en fonction de la saillance de la cible et de la similarité de la cible avec le distracteur.
- Variables dépendantes : le nombre d'erreurs (omissions et confusions) était comptabilisé, ainsi que les TR (en ms) calculés entre l'apparition des panneaux et la réponse verbale du sujet (enregistrement de la réponse orale à l'aide du micro-casque).

#### d) Attention divisée

L'attention divisée réfère à la capacité à allouer des ressources attentionnelles à deux tâches simultanément. Pour rééduquer l'attention divisée, nous avons donc choisi deux tâches :

- Une tâche de contrôle de trajectoire inspirée d'une étude de Brouwer et al. (1989) qui considèrent que le contrôle du véhicule lors de rafales de vent requiert une partie des ressources attentionnelles. Lors du scénario d'attention divisée, les effets d'un vent latéral ont donc été simulés sur la direction du simulateur de conduite.
- Une tâche de calcul mental.

Tout d'abord, les participants devaient réaliser la tâche de contrôle de trajectoire seule. Ensuite, cette même tâche était réalisée simultanément à la tâche de calcul mental. La simple tâche consistait à maintenir la trajectoire du véhicule et à rester le plus possible dans sa voie en évitant de franchir la ligne blanche de droite ou de gauche (Figure 8). En double tâche, un chiffre de départ était donné au participant auquel il devait soustraire ou additionner d'autres chiffres durant toute la durée de l'épreuve. La tâche de conduite avait donc un niveau de charge changeant (intervention de différentes intensités du vent) tandis que la tâche verbale avait un niveau de charge constant.

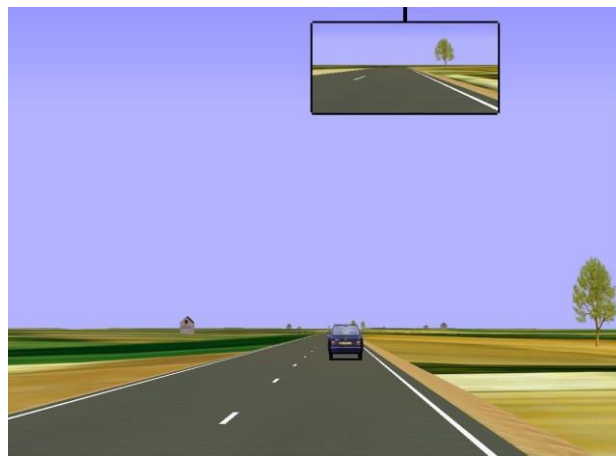


Figure 8. Vue du contexte routier de la tâche d'attention divisée sur simulateur

#### Caractéristiques du scénario d'attention divisée :

- Nombre de parties : deux parties : condition de simple tâche (tâche de conduite seule) et condition de double tâche (conduite + tâche de calcul). Chaque partie durait 5 minutes, soit 10 minutes au total.
- Type de route : 2\*1 voie, milieu rural (limité à 90km).
- Trafic : trafic continu sur la voie opposée et trafic asservi sur la voie du participant (véhicule qui roule à la même vitesse que le participant).
- Vitesse de conduite : aucune vitesse particulière n'était imposée.
- Intervention du vent : le vent se ressentait au niveau visuel (déviations du véhicule) ainsi qu'au niveau physique avec un retour de force sur le volant. La durée d'intervention du vent était de 10 secondes, suivies de 5 secondes sans vent (avant le lancement de l'essai).

suisant). Il y avait trois intensités concernant l'intervention du vent : vent faible, modéré ou fort et deux latéralités concernant la provenance du vent :

- Vent faible : degré de 20°, 5 essais avec vent gauche et 5 essais vent droit
  - Vent modéré : degré de 35°, 5 essais avec vent gauche et 5 essais vent droit
  - Vent fort : degré de 45°, 5 essais avec vent gauche et 5 essais vent droit
- Double tâche (calcul mental) : le chiffre de départ était donné oralement par l'expérimentateur, puis la tâche consistait à additionner ou soustraire des chiffres pendant la durée de conduite (5min). Les chiffres utilisés allaient de -7 à +7 et s'enchaînaient de manière aléatoire (cf. annexe 18 : Exemple de tâche de calcul mental).
- *Nombre d'essais* : 10 essais pour chaque intensité de vent, soit 30 essais au total.
- *ISI* : 10 secondes
- Neuf sessions différentes : la randomisation de l'intensité et de la latéralité du vent, le trafic, et le décor changeaient à chaque session.
- Difficulté de la tâche : les différents niveaux de difficulté dépendaient de la force du vent.
- Variables dépendantes :
- Maîtrise de la trajectoire : calcul du nombre de franchissements de la ligne médiane (ligne de gauche) et de la ligne de droite. La déviation standard du véhicule était aussi calculée.
  - Vitesse de conduite : vitesse en km/h en simple et double tâche.

#### e) Caractéristiques de la programmation informatique

Le développement informatique a suivi le développement conceptuel des scénarios. A l'aide des logiciels Archisim et Sim<sup>2</sup> développés par l'INRETS, des scénarios de conduite ont pu être créés pour répondre spécifiquement à l'enjeu de la rééducation attentionnelle. C'est en fonction des limites des logiciels de programmation et d'après nos connaissances conceptuelles que nous avons pu mettre en œuvre nos choix méthodologiques grâce au logiciel informatique.

Avant d'écrire les scénarios, nous avons dû concevoir le circuit virtuel sur lequel les conducteurs allaient se déplacer. La géométrie de la route a été tracée, puis un certain nombre de caractéristiques ont été précisées : le type de route (autoroute, nationale...), le type d'intersection (en forme de T, de Y, de croix, de rond-point...), le choix du décor (arbres, maisons, animaux, véhicules...) et le choix des panneaux routiers. Une fois la route créée, nous nous sommes concentrés sur l'écriture des scripts (scénarios). Un scénario d'expérimentation est un ensemble d'essais se déroulant de manière successive et défini par des instructions. L'unique méthode permettant de créer un scénario est donc d'écrire un code source dans un fichier ASCII. Le langage de scénario Archisim est fondé sur les notions d'instructions, de procédures, de fonctions et de variables. Un scénario comprenait alors plusieurs essais, comprenant eux-mêmes plusieurs instructions. Les instructions faisaient appel à de multiples conditions de déclenchement et d'actions : liées au trafic, à la trajectoire, à la cabine (au véhicule piloté), relatives au temps, relatives à une action sur un bouton, etc.

Le lancement d'une simulation se faisait avec le programme Dr2 qui charge le code spécifique au scénario et attend la connexion avec une restitution visuelle. Il s'agit d'un modèle de simulation de trafic qui intègre la possibilité de gérer des véhicules autonomes et des véhicules asservis dont le comportement est défini dans les scripts. Pour avoir une représentation visuelle en deux dimensions, il faut lancer le programme Sim<sup>2</sup> qui permet de conduire le simulateur dans le contexte paramétré au préalable dans le code du scénario. L'usage conjoint de ces deux logiciels et d'un dispositif de pilotage d'un véhicule virtuel (manette de jeu, cabine de pilotage...) permet d'obtenir une simulation de conduite.

Enfin, une période de développement a suivi. C'est lors de cette dernière étape que nous avons pu concrétiser les scénarios et les tester pour la première fois. Le développement en tant que cycle dynamique permet de vérifier le bon fonctionnement des scénarios de conduite créés sur ordinateur, en les faisant « jouer » sur le simulateur de conduite pour en avoir une représentation visuelle. En effet, lors de la conception des scénarios, il s'agit d'une écriture codée qui ne permet pas d'avoir accès à une image, c'est donc seulement à la fin de l'écriture d'un scénario qu'il est possible de vérifier sur simulateur de conduite, si l'image visualisée correspond bien à l'image attendue. À l'issue de la première visualisation, le scénario est toujours perfectible. S'installe alors une boucle de modification-revisualisation qui permet d'atteindre au plus près l'objectif de départ décrit lors de la conceptualisation des scénarios. Dans un contexte de simulation, ce sont les paramétrages du script qui vont être modifiés au cours de la phase de test. Il s'agit d'une phase de « pré-manips » durant laquelle des participants ont été inclus avec pour objectif le calibrage des scénarios de simulation. (cf. annexe 19 : Architecture du simulateur)

## 2.5 Training avec ordinateur

### a) Caractéristiques du logiciel CogniPlus®

Les logiciels Schuhfried ont été conçus pour la rééducation des fonctions cognitives assistée par ordinateur. Le logiciel CogniPlus® a été choisi parmi d'autres car il permettait d'observer l'ensemble des processus attentionnels décrit dans le modèle de Van Zomeren & Brouwer (1994). En effet, il permet d'entraîner les aptitudes cognitives centrées sur l'attention, telles que la vigilance, l'attention spatiale, l'attention sélective, l'attention partagée, ... Afin d'obtenir un panel complet se rapprochant le plus possible de nos attentes, nous avons sélectionné quatre sub-tests précis de ce logiciel : alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée.

Le logiciel fonctionnait sur un ordinateur portable Dell, connecté à un clavier spécial disposant de quelques boutons de grande taille. Les participants devaient répondre en appuyant sur un bouton réponse situé sur le boîtier branché à l'ordinateur. Le niveau de difficulté des tâches était graduel pour toutes les épreuves (à l'exception de la vigilance) et s'adaptait aux performances du participant. Si les temps de réponse du participant diminuaient au fil des essais, alors le système passait automatiquement au niveau supérieur. À l'inverse, si un participant rencontrait des difficultés à un certain niveau, alors il redescendait au niveau inférieur de façon à ne pas le mettre en situation d'échec.

Le logiciel permettait de calculer les moyennes et de dessiner les graphiques correspondant aux performances du sujet directement à l'issue de la session. Ainsi, chaque séance de training sur ordinateur était suivie d'un feedback illustré.

Toutes les tâches étaient dynamiques mais à aucun moment le participant ne devait maîtriser la conduite du véhicule. Toutes les épreuves ont été paramétrées sur dix minutes.

### b) Alerte phasique

L'interface se présentait de la façon suivante : le participant était sur une moto qui roulait sur une route départementale, mais il n'avait pas à gérer la conduite de ce véhicule deux roues. Sa tâche consistait à appuyer sur le bouton-réponse lorsqu'un obstacle apparaissait à l'écran (Figure 9). Les obstacles pouvaient être de différentes natures : arbres, véhicules, animaux, éboulement de pierres, etc. Au début de l'épreuve (niveau 1), le participant était averti de la survenue de l'obstacle via un signal visuel ou auditif (panneau jaune de danger ou bip sonore), mais par la suite les signaux avertisseurs disparaissaient.

L'alerte phasique était donc mise en jeu lorsque le participant était alerté par un signal avertisseur, permettant normalement une facilitation du traitement de l'obstacle.



Figure 9. Vue de la tâche d'alerte phasique sur ordinateur

L'augmentation des niveaux de difficulté correspondait à une augmentation de l'allure kilométrique, ce qui rendait la pression temporelle plus forte et la détection de l'obstacle de plus en plus difficile.

c) Vigilance

Concernant le sub-test vigilance, le participant était dans une voiture, et roulait sur une route départementale. Son propre véhicule se faisait constamment doubler par d'autres voitures qui se rabattaient aussitôt devant lui. De temps en temps, ceux-ci freinaient après s'être rabattus, mais cela n'arrivait que très rarement durant l'intégralité de l'épreuve. La tâche du participant consistait à appuyer sur le bouton-réponse dès que les feux arrière de la voiture de devant s'éclairaient (Figure 10). Cette tâche mettait en jeu la vigilance dans la mesure où il s'agissait d'une tâche très monotone, lors de laquelle le décor et la vitesse kilométrique restaient constant durant les dix minutes de l'épreuve.



Figure 10. Vue de la tâche de vigilance sur ordinateur

Il n'y avait qu'un seul niveau de difficulté pour cet exercice. De ce fait la monotonie de la tâche était accentuée. Tous les participants ont effectué la tâche en niveau 1 durant toutes les sessions de training.

#### d) Attention sélective

La tâche d'attention sélective proposée par le logiciel consistait à conduire un wagon dans un tunnel (Figure 11). Plusieurs personnages apparaissaient à l'écran, soit sur la gauche du tunnel, soit sur la droite ou au plafond. La tâche du participant était de répondre aux stimuli pertinents, considérés comme « cible ». La cible était représentée par un personnage présenté en tout début de tâche durant les consignes. À chaque apparition de cible, le participant devait appuyer sur le bouton-réponse, en faisant attention de ne pas réagir lorsqu'il s'agissait d'un personnage « distracteur ». Il s'agissait bien d'une tâche mettant en jeu la composante sélective de l'attention dans la mesure où les participants devaient sélectionner un personnage cible tout en inhibant les personnages distracteurs présentés à l'écran.



Figure 11. *Vue de la tâche d'attention sélective sur ordinateur*

L'augmentation du niveau de difficulté engendrait une accélération du wagon et une augmentation du nombre de cibles à détecter et du nombre de distracteurs à inhiber.

#### e) Attention divisée

L'interface utilisée lors de la tâche d'attention divisée représentait un aéroport où le participant devait assurer la sécurité. Plusieurs moniteurs de contrôle apparaissaient à l'écran, il y avait l'entrée de l'aéroport, un tapis à bagages et un guichet de vente (Figure 12). La tâche consistait à surveiller les écrans de contrôle, il devait réagir lorsque les portes d'entrée de l'aéroport ne s'ouvraient plus, lorsque le tapis à bagage ne fonctionnait plus et lorsque le volet d'un guichet restait bloqué. En plus de ces tâches visuelles, le participant devait effectuer une tâche auditive. Il s'agissait d'écouter les annonces de l'aéroport et de réagir seulement lorsqu'un passager était appelé à se présenter au guichet. Dans toutes ces conditions, le participant devait réagir de la même façon : en appuyant sur le bouton réponse. La capacité d'attention divisée était bien requise dans cette tâche étant donné que les participants devaient allouer des ressources attentionnelles à plusieurs tâches simultanément : une tâche visuelle et une tâche auditive.



Figure 12. Vue des trois écrans de contrôle lors de la tâche *d'attention divisée* sur ordinateur

Les moniteurs de contrôle n'étaient pas tous allumés lors du premier niveau. Le participant devait alors simplement gérer la surveillance des portes d'entrée. À partir du niveau 3, le moniteur de contrôle du tapis de bagages s'ajoutait à la première tâche de surveillance. Enfin, à partir du niveau 6 le participant devait aussi surveiller le moniteur des guichets. La tâche auditive était présente à tous les niveaux et se complexifiait à partir du niveau 10, où il fallait réagir non pas à un message mais à deux. Autrement dit, plus le niveau de difficulté augmentait, plus les tâches entre lesquelles le participant devait partager son attention étaient nombreuses.

### 3. Évaluation post-training

Dans la mesure où nous avons choisi une ligne de base multiple, elle impliquait donc des mesures post-training tout aussi variées. Ainsi, pour être en accord avec l'évaluation pré-training et afin d'évaluer l'efficacité et la spécificité de la méthode, les mêmes mesures ont été prises à l'issue des trois semaines de training. L'évaluation neuropsychologique a été réitérée, à l'exception des tests utilisés comme critères d'inclusion (MMSE, BEC 96, BREF, PM38). L'évaluation sur simulateur de conduite comprenait les deux mêmes scénarios de conduite que lors du pré-test (sur autoroute et en centre-ville), mais les participants commençaient cette fois-ci par le parcours 2 pour finir avec le parcours 1. Enfin, l'évaluation sur route réelle était tout à fait identique au premier passage réalisé avec le moniteur. De plus, il s'agissait toujours des mêmes lieux d'expérimentation et des mêmes examinateurs (neuropsychologue, moniteur d'auto-école).

### 4. Procédure

Pour résumer, notre dispositif expérimental comprenait plusieurs étapes : une évaluation pré-training (avec des tests neuropsychologiques classiques, une épreuve sur simulateur de conduite et une évaluation sur route réelle), un programme d'entraînement sur simulateur de conduite ou sur ordinateur, et une évaluation post-training (identique à celle du pré-training). Le Tableau 8 récapitule le déroulement du protocole expérimental en fonction du type de training (simulateur vs ordinateur).

Tableau 8. Déroulement du protocole en fonction du type de training

<b>Training sur simulateur de conduite</b>	<b>Training sur ordinateur</b>
Bilan neuropsychologique (J1)	Bilan neuropsychologique (J1)
Évaluation pré-training sur simulateur (J1)	Évaluation pré-training sur simulateur (J1)
Évaluation pré-training sur route (J1)	Évaluation pré-training sur route (J1)
Training sur simulateur de conduite - 9h (J4)	Training sur ordinateur - 9h (J4)
Évaluation post-training neuropsychologique (J28)	Évaluation post-training neuropsychologique (J28)
Évaluation post-training sur simulateur (J28)	Évaluation post-training sur simulateur (J28)
Évaluation post-training sur route (J28)	Évaluation post-training sur route (J28)

Le déroulement du protocole expérimental et la durée des différentes étapes étaient identiques pour les deux groupes de training. Les trois étapes de l'évaluation pré-training se déroulaient pendant une demi-journée, le training pendant trois semaines (deux jours après l'évaluation de départ) et l'évaluation post-training pendant une demi-journée (deux jours après la dernière session de training).

Une séance de training s'effectuait selon une règle stricte et identique pour le groupe simulateur et ordinateur. Il s'agissait d'un contrebalancement des quatre exercices de training, à l'exception du scénario de vigilance qui était toujours effectué en dernier pour éviter d'observer une baisse de vigilance chez les participants dès le début de la session de training (Tableau 9).

Tableau 9. Randomisation des quatre tâches attentionnelles pour tout type de training

	<b>1<sup>er</sup> exercice</b>	<b>2<sup>ème</sup> exercice</b>	<b>3<sup>ème</sup> exercice</b>	<b>4<sup>ème</sup> exercice</b>
<b>Session 1</b>	Alerte Phasique	Attention Sélective	Attention Divisée	Vigilance
<b>Session 2</b>	Attention Sélective	Attention Divisée	Alerte Phasique	Vigilance
<b>Session 3</b>	Attention Divisée	Alerte Phasique	Attention Sélective	Vigilance
<b>Session 4</b>	Alerte Phasique	Attention Divisée	Attention Sélective	Vigilance
<b>Session 5</b>	Attention Sélective	Alerte Phasique	Attention Divisée	Vigilance
<b>Session 6</b>	Attention Divisée	Attention Sélective	Alerte Phasique	Vigilance
<b>Session 7</b>	Alerte Phasique	Attention Sélective	Attention Divisée	Vigilance
<b>Session 8</b>	Attention Sélective	Attention Divisée	Alerte Phasique	Vigilance
<b>Session 9</b>	Attention Divisée	Alerte Phasique	Attention Sélective	Vigilance

Chaque exercice durait dix minutes, suivies de cinq minutes de feedback spécifique à l'exercice. Le feedback du groupe simulateur était réalisé par l'expérimentateur de manière verbale. Cependant, comme aucun traitement de données n'avait pu être effectué, il s'agissait alors d'un retour sur la vitesse kilométrique à laquelle le participant avait roulé, ou sur le nombre d'erreurs commises durant une tâche (comptabilisé en direct avec une grille de cotation). Le visionnage de la vidéo enregistrée était aussi possible, si nécessaire. La deuxième session de training commençait par un feedback plus détaillé et général sur la session précédente. Dans la mesure où l'analyse des données était effectuée d'une session sur l'autre, il était possible de montrer à ce moment là les courbes de progression au participant et ses temps de réponse moyens pour chaque tâche. Le feedback du groupe ordinateur était généré de manière automatique par le logiciel, qui permettait de tracer des courbes par rapport aux temps de réponse enregistrés.

### III. PLAN EXPÉRIMENTAL ET ANALYSES STATISTIQUES

#### 1. Plan expérimental

##### 1.1 Plan expérimental général

Le plan expérimental général est un plan multifactoriel mixte, puisqu'il comprend deux groupes emboîtés (simulateur et ordinateur), qui réalisent chacun toutes les conditions expérimentales. Ainsi, l'écriture statistique du plan utilisé est la suivante :

- Pour les patients traumatisés crâniens :  $P5 <T2> * E3 * P2$
- Pour les personnes âgées :  $S8 <T2> * E3 * P2$

Avec :

P= Patients ; S= Sujets âgés

T= Type de training : simulateur vs ordinateur

E= Type d'évaluation : neuropsychologique, sur simulateur de conduite et sur route

P= Période de l'évaluation : avant le training (pré-training) et après le training (post-training)

En d'autres termes, les cinq patients traumatisés crâniens de chaque modalité de training (dix au total), effectuaient les trois modalités de l'évaluation lors de deux périodes expérimentales (avant et après le training)

##### 1.2 Plan expérimental du training attentionnel

Le plan expérimental pour le training est un plan multifactoriel croisé complet, puisqu'on ne compare pas les participants entre eux (donc pas d'emboîtement). Il s'agit d'études de cas portant uniquement sur la population des patients avec traumatisme crânien, la variable sujet n'intervient donc pas dans l'écriture du plan. Ainsi, l'écriture statistique du plan utilisé est la suivante :  $A4 * S9$  ; avec :

- A= exercices Attentionnels
- S= nombre de Sessions de training

En d'autres termes, chaque patient traumatisé crânien a effectué quatre exercices de training attentionnel durant neuf sessions de training. L'analyse de cas permet donc de mesurer l'évolution de plusieurs performances dans le temps et non de comparer deux types de training attentionnel entre eux, comme lors de l'évaluation.

(cf. annexe 20 pour une description exhaustive des variables utilisées pour l'évaluation et le training attentionnel)

#### 2. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques réalisées dans le cadre de ce travail de thèse ont été effectuées avec le logiciel de traitement statistique SPSS Statistics 17.0<sup>®</sup>. Au vu du nombre restreint de participants dans chaque groupe, le choix des tests s'est orienté vers les tests non paramétriques avec hypothèse bilatérale, de façon à minimiser le risque d'obtenir des résultats significatifs alors qu'ils ne le sont pas. Les résultats ont été organisés en deux parties principales, la première concerne le groupe de patients traumatisés crâniens et la deuxième concerne le groupe de personnes âgées. Les mêmes analyses statistiques ont été réalisées de



manière indépendante entre les groupes de participants. Le groupe de patients traumatisés crâniens n'a donc pas été comparé au groupe de personnes âgées.

Dans un premier temps, les analyses ont porté sur le groupe de participants entraînés sur simulateur de conduite (N=5 pour les patients traumatisés crâniens et N=8 pour les personnes âgées). Il s'agissait d'une **comparaison intra-groupe** entre les résultats obtenus à l'évaluation pré-training et les résultats obtenus à l'évaluation post-training. Dans un second temps, les mêmes analyses ont été effectuées pour le groupe de participants entraîné sur ordinateur. Ces analyses de comparaison intra-groupe ont été effectuées de façon non paramétrique sur échantillon apparié, c'est donc le test de Wilcoxon apparié qui a été utilisé.

Enfin, des **comparaisons inter-groupe** ont été réalisées et consistaient à comparer les performances entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur lors de l'évaluation pré-training et lors de l'évaluation post-training. Selon Seron (2000), l'efficacité d'un traitement (donc d'un training) peut être évaluée avec la formule suivante :

$$\text{Effet traitement} = \text{Evaluation post-traitement} - \text{Evaluation pré-traitement}$$

De ce fait, un dernier calcul a été effectué, nommé « calcul du gain dû au training », qui a été obtenu en soustrayant les résultats obtenus à l'évaluation pré-training aux résultats obtenus à l'évaluation post-training. Le gain obtenu pour le groupe simulateur était ensuite comparé au gain obtenu pour le groupe ordinateur. Ces analyses de comparaisons inter-groupe se sont effectuées sur échantillons indépendants en non paramétrique, notre choix s'est ainsi logiquement porté sur le test de U de Mann-Whitney.

Concernant les figures qui illustrent les résultats, nous avons choisi l'histogramme lorsqu'il s'agit d'une valeur non moyennée (score à une échelle par exemple) et le graphique en courbes lorsque nous disposons de moyennes (pour les temps de réponse par exemple). Pour ces deux types de figures nous avons représenté les barres d'erreur avec l'écart-type. Les résultats ont été déclarés significatifs au seuil de risque  $\alpha$  de 5% ( $p < 0.05$ ), seuil couramment utilisé en psychologie (Howell, 1998). Les tendances ont également été mentionnées ( $0.05 < p < 0.07$ ).

Certains résultats ont été ôtés de l'analyse, lorsqu'ils étaient situés à plus ou moins deux écarts-types de la moyenne de leur groupe d'appartenance.

Cette même méthode de traitement statistique a été réitérée pour les trois types d'évaluation (neuropsychologique, simulateur et route) et pour les deux types de population étudiés (patients traumatisés crâniens et personnes âgées).

À l'issue des deux parties traitant des résultats du pré-test et post-test, nous avons analysé les résultats obtenus au cours du training attentionnel, spécifiquement pour le groupe de patients traumatisés crâniens. Chaque patient a été vu de manière indépendante à travers dix études de cas, dont nous détaillerons par la suite les caractéristiques propres.



## **CHAPITRE 4 : RÉSULTATS**



Cette section de chapitre est scindée en trois parties. Nous verrons, dans un premier temps, l'évolution des performances entre l'évaluation pré-training et post-training chez les patients traumatisés crâniens. Puis, dans un second temps, cette même évolution a été étudiée chez les personnes âgées. Enfin, une analyse séquentielle a été effectuée sur l'évolution des performances au cours des différentes sessions de training attentionnel chez les patients traumatisés crâniens (cas par cas).

## I. RÉSULTATS DES PATIENTS TRAUMATISÉS CRÂNIENS

### 1. Résultats de l'évaluation neuropsychologique

#### 1.1 Comparaison des résultats à la norme

Nous avons tout d'abord comparé les scores des patients aux différents tests neuropsychologiques papier-crayon à la norme standardisée.

Le Tableau 10 récapitule le nombre de patients du **groupe simulateur** ayant un score pathologique (soit un rang percentile inférieur à 5) aux tests attentionnels papier-crayon.

Tableau 10. Nombre de patients ayant un score pathologique aux tests papier-crayon (groupe simulateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test*</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
S <sup>1</sup> : TR dénomination	0/4	0/4	M <sup>3</sup> : TR désorganisé	4/5	4/5
S : TR lecture	1/4	1/4	M : TR organisé	4/5	4/5
S : TR interférence	2/4	0/4	M : erreur désorganisé	1/5	0/5
S : inter-dénomination	2/4	0/4	M : erreur organisé	1/5	0/5
P <sup>2</sup> : bonne réponses	1/4	0/4	TMT <sup>4</sup> A : TR	1/4	1/4
P : erreur Télescopage	0/4	2/4	TMT B : TR	1/4	1/4
P : erreur Calcul	1/4	0/4	TMT B- TMT A : TR	0/4	0/4
P : erreur non-réponse	1/4	1/4			

<sup>1</sup>S. Stroop

\* Nombre de patients / Effectif total du groupe

<sup>2</sup>P. PASAT

<sup>3</sup>M. Mesulam

<sup>4</sup>TMT. Trail Making Test

Un patient avait quelques troubles du langage au moment de l'expérimentation et n'a pu réaliser les épreuves de Stroop, PASAT et TMT. Le total des scores pathologiques obtenus par le groupe simulateur aux tests papier-crayon par le groupe simulateur est de 20 (sur 64) en pré-test et 14 en post-test.

Le Tableau 11 récapitule le nombre de patients du **groupe ordinateur** ayant un score pathologique (soit un rang percentile inférieur à 5) aux tests attentionnels papier-crayon.

Tableau 11. Nombre de patients ayant un score pathologique aux tests papier-crayon (groupe ordinateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test*</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
S <sup>1</sup> : TR dénomination	2/4	2/4	M <sup>3</sup> : TR désorganisé	4/5	2/5
S : TR lecture	2/4	3/4	M : TR organisé	1/5	0/5
S : TR interférence	1/4	1/4	M : erreur désorganisé	0/5	0/5
S : inter-dénomination	0/4	0/4	M : erreur organisé	0/5	0/5
P <sup>2</sup> : bonne réponses	1/5	1/5	TMT <sup>4</sup> A : TR	0/5	0/5
P : erreur Télescopage	0/5	0/5	TMT B : TR	1/5	0/5
P : erreur Calcul	0/5	0/5	TMT B- TMT A : TR	1/5	0/5
P : erreur non-réponse	1/5	1/5			

<sup>1</sup>S. Stroop

\* Nombre de patients / Effectif total du groupe

<sup>2</sup>P. PASAT<sup>3</sup>M. Mesulam<sup>4</sup>TMT. Trail Making Test

Un patient daltonien n'a pu réaliser le test de Stroop. Le total des scores neuropsychologiques papier-crayon obtenus par les patients du groupe ordinateur est de 14 (sur 71) en pré-test et 10 en post-test.

En résumé, le groupe simulateur avait plus de troubles attentionnels aux tests papier-crayon par rapport au groupe ordinateur (en pré-test et post-test). Les deux groupes se sont améliorés, mais l'amélioration du groupe simulateur en post-test permet seulement d'atteindre le niveau du groupe ordinateur en pré-test. Le test neuropsychologique le plus sensible chez les patients traumatisés crâniens semble être le Mesulam (TR condition désorganisé) puisque 8 patients sur 10 avaient des troubles attentionnels lors de cette épreuve (en pré-test).

Pour le test informatisé TEA, nous avons choisi d'exprimer les résultats en percentiles (pourcentages), correspondant à la division d'une population en 100 groupes d'effectifs égaux. Dans la pratique clinique, il est courant de considérer un score comme pathologique lorsqu'il est situé en dessous du cinquième percentile. Sturm (1999) considère qu'un patient a des déficits attentionnels lorsque ses performances sont inférieures au percentile 25 dans les tests de la TEA. De ce fait, nous avons différencié le nombre de patients traumatisés crâniens ayant un score déficitaire (inférieur au rang percentile 25) de ceux ayant un score pathologique (inférieur au rang percentile 5) aux tests neuropsychologiques informatisés.

Le Tableau 12 récapitule le nombre de patients du **groupe simulateur** ayant un trouble attentionnel (soit un rang percentile inférieur à 25). De plus, il spécifie entre parenthèses le nombre de patients ayant un score pathologique (inférieur au rang percentile 5) parmi ces derniers.

Tableau 12. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe simulateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
AP <sup>1</sup> : TR sans	3/5 (1/5)	3/5 (1/5)	Vigi <sup>3</sup> : TR	4/5 (1/5)	4/5 (0/5)
AP : TR avec	3/5 (1/5)	3/5 (0/5)	Vigi : nb FA	3/5 (2/5)	3/5 (1/5)
AP : index	2/5 (0/5)	0/5 (0/5)	Vigi : nb Om	3/5 (0/5)	1/5 (0/5)
AD <sup>2</sup> : TR aud	3/5 (0/5)	2/5 (1/5)	GO <sup>4</sup> : TR	3/5 (2/5)	3/5 (2/5)
AD : TR visuel	4/5 (1/5)	3/5 (2/5)	GO : nb FA	2/5 (0/5)	1/5 (0/5)
AD : nb FA	2/5 (0/5)	3/5 (2/5)	GO : nb Om	1/5 (1/5)	0/5 (0/5)
AD : nb Om	3/5 (1/5)	4/5 (2/5)			

<sup>1</sup>AP. Alerte Phasique (sans avertisseur, avec avertisseur et index d'alerte)<sup>2</sup>AD. Attention Divisée (TR auditif, TR visuel, nombre de fausses alarmes et nombre d'omissions)<sup>3</sup>Vigi. Vigilance<sup>4</sup>GO. Go/No-go

Par exemple, concernant le temps de réponse en pré-test au sub-test alerte phasique sans avertisseur visuel, il y a trois patients sur 10 qui ont obtenu des TR déficitaires (rang percentile inférieur à 25) dont un patient qui a obtenu des TR pathologiques (rang percentile inférieur à 5).

Sur l'ensemble des tests, le rapport à la norme des scores obtenus par le groupe simulateur aux tests informatisés TEA montre qu'il y avait 36 scores déficitaires sur 65 au total à l'évaluation pré-training et 30 à l'évaluation post-training, dont 10 scores pathologiques en pré-test et 11 en post-test.

Le Tableau 13 récapitule le nombre de patients du **groupe ordinateur** ayant un trouble attentionnel (soit un rang percentile inférieur à 25). De plus, il spécifie entre parenthèses le nombre de patients ayant un score pathologique (inférieur au rang percentile 5) parmi ces derniers.

Tableau 13. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe ordinateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
AP <sup>1</sup> : TR sans	0/5 (0/5)	3/5 (0/5)	Vigi <sup>3</sup> : TR	5/5 (1/5)	5/5 (0/5)
AP : TR avec	2/5 (0/5)	2/5 (0/5)	Vigi : nb FA	1/5 (0/5)	1/5 (0/5)
AP : index	2/5 (0/5)	0/5 (0/5)	Vigi : nb Om	1/5 (0/5)	0/5 (0/5)
AD <sup>2</sup> : TR aud	3/5 (1/5)	1/5 (0/5)	GO <sup>4</sup> : TR	3/5 (1/5)	2/5 (0/5)
AD : TR visuel	2/5 (0/5)	2/5 (0/5)	GO : nb FA	0/5 (0/5)	3/5 (0/5)
AD : nb FA	3/5 (1/5)	2/5 (1/5)	GO : nb Om	0/5 (0/5)	0/5 (0/5)
AD : nb Om	1/5 (0/5)	2/5 (0/5)			

<sup>1</sup>AP. Alerte Phasique (sans avertisseur, avec avertisseur et index d'alerte)

<sup>2</sup>AD. Attention Divisée (TR auditif, TR visuel, nombre de fausses alarmes et nombre d'omissions)

<sup>3</sup>Vigi. Vigilance

<sup>4</sup>GO. Go/No-go

Concernant les patients du groupe ordinateur, on observe 23 scores déficitaires sur 65 au total à l'évaluation pré-training et 23 à l'évaluation post-training, dont 4 scores pathologiques en pré-test et 1 en post-test.

En résumé, le groupe simulateur avait plus de troubles attentionnels aux tests informatisés que le groupe ordinateur (en pré-test et post-test). Seul le groupe simulateur s'est amélioré entre le pré-test et le post-test. Cependant, cette amélioration ne permet pas d'atteindre le niveau du groupe ordinateur en pré-test.

## 1.2 Résultats statistiques

Les résultats des patients des deux groupes étaient semblables d'un point de vue statistique en pré-test, excepté pour le test de Mesulam organisé. En effet, les patients du groupe simulateur était plus ralentis pour répondre par rapport à ceux du groupe ordinateur.

### a) Groupe entraîné sur simulateur de conduite

Dans un premier temps nous avons analysé les résultats aux tests papier-crayon entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training, pour le groupe ayant bénéficié du training sur simulateur de conduite (N=5). Un patient a obtenu des scores extrêmes par rapport aux résultats du groupe (situés à plus ou moins 2 écarts-types de la moyenne), ces résultats ont donc été enlevés de l'analyse. Cela concernait les résultats aux TMT et Stroop. De plus, ce même patient n'a pu réaliser le test du PASAT devant l'incompréhension des consignes. Ainsi, pour ce dernier, seuls les résultats au test Mesulam ont été conservés.

Parmi toutes les variables des tests neuropsychologiques citées précédemment (papier-crayon et informatisés), aucune n'a montré de différence statistiquement significative entre l'évaluation pré et l'évaluation post-training, avec le test de Wilcoxon apparié.

b) Groupe entraîné sur ordinateur

Le test de Wilcoxon apparié ( $Z=-2.023$  ;  $p=.043$ ) a montré une différence statistiquement significative entre le temps de réponse moyen au TMT B à l'évaluation pré-training ( $76.4 \pm 31.34$  sec) et le TR à l'évaluation post-training ( $56 \pm 23.67$  sec). Les patients sont plus rapides dans la réalisation de cette tâche d'alternance après le training. On observe la même amélioration pour les temps de réponse au Mesulam désorganisé ( $Z=-2.023$  ;  $p=.043$ ) entre l'évaluation pré-training ( $90.8 \pm 21.93$  sec) et l'évaluation post-training ( $69.8 \pm 21.04$  sec). Les patients traumatisés crâniens qui ont bénéficié du training sur ordinateur ont également amélioré leurs temps de réponse dans cette épreuve d'attention sélective (Figure 13).

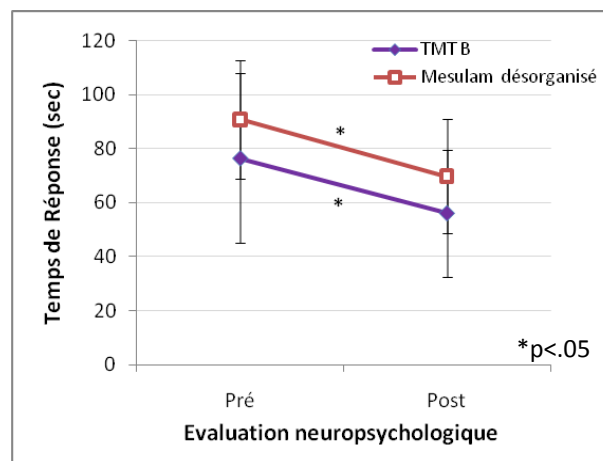


Figure 13. Comparaison des temps de réponse au TMT B et Mesulam désorganisé *entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training* chez les patients entraînés sur ordinateur

Concernant les tests informatisés (TEA) aucune variable n'a montré de différence statistiquement significative entre l'évaluation pré-training et le post-training.

c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney a ensuite été réalisé pour comparer les scores entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation pré-training. Seule une différence s'est révélée statistiquement significative en pré-test, il s'agit du TR au Mesulam organisé ( $U=3$  ;  $Z=-1,984$  ;  $p=.047$ ). Le groupe simulateur avait un temps de réponse moyen plus élevé ( $133.8 \pm 31$  sec) que celui du groupe ordinateur ( $84,4 \pm 9.84$  sec). Cette même différence significative ( $U=3$  ;  $z=-1.984$  ;  $p=.047$ ) se retrouve en post-test, toujours en faveur du groupe ordinateur ( $66.4 \pm 17.05$  sec) par rapport au groupe simulateur ( $109.2 \pm 37.14$  sec).

Enfin, en ce qui concerne la comparaison du gain obtenu (score post – score pré), aucune différence statistiquement significative n'a été retrouvée, que ce soit pour les tests papier-crayon ou les tests informatisés.

### Synthèse sur l'évolution des performances à l'évaluation neuropsychologique

Pour résumer, le groupe ordinateur s'est amélioré à un test d'attention sélective (Mesulam) et un test d'alternance attentionnelle (TMT), alors que le groupe simulateur n'a



montré aucune évolution. Le groupe simulateur a par ailleurs présenté des troubles attentionnels plus importants lors de la comparaison des scores à la norme standardisée.

## 2. Résultats de l'évaluation sur simulateur de conduite

Lors de l'évaluation pré-training sur simulateur de conduite, tous les résultats des patients du groupe simulateur étaient semblables, d'un point de vue statistique, aux résultats des patients du groupe ordinateur.

Dans un premier temps, nous avons comparé les résultats du groupe entraîné sur simulateur de conduite (N=5) à l'évaluation pré-training à ceux obtenus à l'évaluation post-training. Ensuite, les mêmes analyses ont été effectuées pour le groupe ayant bénéficié du training ordinateur (N=5).

### 2.1 Groupe entraîné sur simulateur de conduite

La grille utilisée pour coter l'évaluation du parcours 1 sur simulateur de conduite comprenait trois variables (réussite, exploration visuelle et adaptation de la vitesse) et celle du parcours 2 en comprenait deux supplémentaires (placement de voie et respect de la signalisation).

Le test de Wilcoxon apparié a révélé une différence statistiquement significative pour la compétence générale de conduite du parcours 1 entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training, ainsi que pour le sous-score adaptation de la vitesse (parcours 1) et placement de voie (parcours 2). On observe aussi une tendance à la significativité pour les sous-scores réussite, exploration visuelle et respect de la signalisation (Tableau 14).

Tableau 14. Comparaison des performances *sur simulateur de conduite entre l'évaluation pré-training et post-training* pour les patients du groupe simulateur

<b>Variables des grilles de conduite (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Scores Parcours 1</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 27)</b>	15.6 (7.93)	21.3 (5.11)	-2.032	<b>0.042</b>
<b>Réussite (sur 9)</b>	6.0 (2.83)	8.0 (1.41)	-1.826	0.068*
<b>Exploration visuelle (sur 9)</b>	4.9 (3.34)	6.6 (2.58)	-1.841	0.066*
<b>Adaptation de la vitesse (sur 9)</b>	4.7 (2.49)	6.7 (2.02)	2.032	<b>0.042</b>
<b>Scores Parcours 2</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 100)</b>	76.2 (18.23)	81.3 (16.85)	-1.753	0.080
<b>Réussite (sur 32)</b>	25.2 (4.97)	26.8 (6.42)	-1.633	0.102
<b>Exploration visuelle (sur 32)</b>	18.3 (12.83)	20.7 (10.75)	-0.944	0.345
<b>Adaptation de la vitesse (sur 32)</b>	26.4 (5.45)	27.0 (4.05)	-0.730	0.465
<b>Placement de voie (sur 12)</b>	9.6 (1.39)	10.3 (1.26)	-2.070	<b>0.033</b>
<b>Respect de la signalisation (sur 25)</b>	20.3 (3.15)	21.7 (3.93)	-1.826	0.068*

\* tendance à la significativité (p<.07)

Ainsi, les patients entraînés sur simulateur de conduite ont amélioré leur compétence générale de conduite en zone péri-urbaine (parcours 1). De plus, leur vitesse était plus adaptée et le placement de voie en centre-ville était plus approprié en post-test par rapport au pré-test. Enfin, les patients auraient tendance à avoir un comportement plus adapté aux différentes situations routières (sous-score réussite), une meilleure exploration de la scène routière et respecterait davantage les panneaux de signalisation.

## 2.2 Groupe entraîné sur ordinateur

En ce qui concerne le groupe ordinateur, le test de Wilcoxon apparié a révélé une amélioration significative de leur compétence générale au parcours 2 entre le pré-test et le post-test. L'analyse montre également une amélioration pour la compétence globale au parcours 1 qui est proche du seuil de significativité. Les patients ont obtenu un meilleur score en post-test comparé au pré-test (Tableau 15).

Tableau 15. Comparaison des performances *sur simulateur de conduite* entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe ordinateur

<b>Variables des grilles de conduite (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Scores Parcours 1</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 27)</b>	21.80 (4.10)	23.00 (3.71)	-1.841	0.066*
<b>Réussite (sur 9)</b>	7.60 (1.14)	8.00 (1.00)	-1.414	0.157
<b>Exploration visuelle (sur 9)</b>	7.00 (1.90)	7.70 (1.48)	-1.633	0.102
<b>Adaptation de la vitesse (sur 9)</b>	7.20 (1.20)	7.30 (1.44)	-0.272	0.785
<b>Scores Parcours 2</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 100)</b>	85.51 (8.53)	90.04 (3.00)	-2.023	<b>0.043</b>
<b>Réussite (sur 32)</b>	29.00 (2.65)	30.60 (0.55)	-1.089	0.276
<b>Exploration visuelle (sur 32)</b>	22.20 (4.13)	23.80 (3.29)	-1.761	0.078
<b>Adaptation de la vitesse (sur 32)</b>	30.00 (2.85)	30.50 (1.00)	-0.135	0.892
<b>Placement de voie (sur 12)</b>	9.70 (2.11)	10.10 (1.78)	0.000	1.000
<b>Respect de la signalisation (sur 25)</b>	22.40 (1.85)	24.20 (0.45)	-1.483	0.138

\* tendance à la significativité ( $p < .07$ )

Les patients entraînés sur ordinateur ont donc amélioré leur compétence globale de conduite et d'une manière plus marquée dans le contexte de centre-ville que dans celui d'autoroute et de route nationale.

## 2.3 Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney a ensuite été utilisé pour comparer les scores de l'évaluation sur simulateur de conduite entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur. Aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée entre les groupes au pré-test. Autrement dit, les deux groupes de training ont obtenu des résultats équivalents à l'évaluation pré-training.

En revanche, en post-test, ce test a révélé une différence significative entre les deux groupes pour la variable « coût portières » ( $U=2$  ;  $Z=-1.96$  ;  $p=.050$ ). Cette variable mesure le coût dû à la double tâche (conversation avec l'expérimentateur) sur les temps de réponse face à l'ouverture des portières. Elle se calcule en soustrayant les TR de la simple tâche au TR de la double tâche. Le groupe simulateur présentait un coût dû à la double tâche significativement plus élevé ( $706.38 \pm 308.41$  ms) que le groupe ordinateur ( $321.8 \pm 188.76$  ms) en post-test, alors que les deux groupes ne différaient pas en pré-test ( $U=5$  ;  $Z=-0.866$  ;  $p=.386$ ). Ceci laisse supposer que le groupe ordinateur s'est amélioré en double tâche en post-test.

Concernant le **gain** obtenu (scores conduite post - scores conduite pré), il est statistiquement supérieur pour le groupe simulateur comparé au groupe ordinateur. On note une différence significative entre les groupes pour la compétence générale au parcours 1 ( $U=3$  ;  $Z=-2.015$  ;  $p=.044$ ) et pour le sous-score adaptation de la vitesse du parcours 1

( $U=2.5$  ;  $Z=-2.128$  ;  $p=.033$ ). L'amélioration de la compétence générale entre le pré-test et post-test est plus importante pour le groupe simulateur ( $5.7 \pm 3.44$  points) que pour le groupe ordinateur ( $1.2 \pm 1.25$  points). Ceci se vérifie aussi pour le sous-score vitesse (simulateur :  $2 \pm 1.32$  points ; ordinateur :  $0.1 \pm 1.08$  points). Par contre, aucune différence statistiquement significative n'a été montrée concernant les autres variables de la grille du parcours 1 (Figure 14) et les variables du parcours 2.

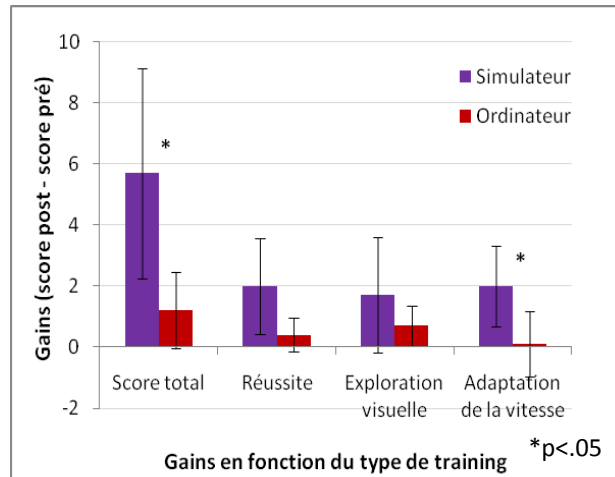


Figure 14. Comparaison du gain entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation sur simulateur (parcours 1)

L'analyse du gain a également permis de révéler une différence significative entre les deux groupes de training pour le temps de réponse à l'ouverture de portières en double tâche ( $U<.0001$  ;  $Z=-2.309$  ;  $p=.021$ ). Le groupe ayant bénéficié du training sur ordinateur obtient une diminution plus importante des TR ( $-339.38 \pm 134.45$  ms) que le groupe simulateur ( $22.25 \pm 285.57$  ms) entre le pré-test et le post-test (Figure 15). Autrement dit, le groupe ordinateur est plus rapide pour réagir à l'ouverture de portière en double tâche en post-test par rapport au pré-test ; et cette amélioration est bien plus importante comparée au groupe simulateur.

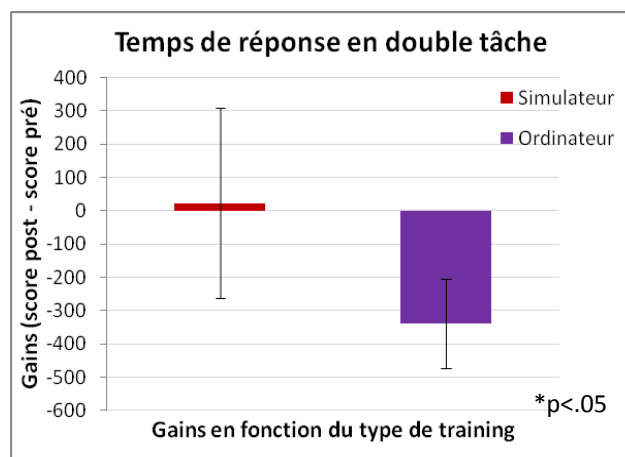


Figure 15. Comparaison du gain entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation sur simulateur (parcours 2)

Le groupe simulateur obtient des TR relativement stables entre le pré-test et le post-test (22ms de différence) alors que le groupe simulateur gagne 339ms en post-test comparé au pré-test.

Cependant, l'écart-type du groupe simulateur est très élevé (285.57 ms), nous avons alors analysé les TR au cas par cas afin d'examiner le gain de chaque patient du groupe simulateur. On s'aperçoit que quatre patients sur cinq obtiennent un gain négatif (diminution de leurs TR en post-test) et seul un patient obtient un gain positif et donc une augmentation des TR. Ainsi, quatre patients du groupe simulateur se sont améliorés entre le pré-test et le post-test mais la performance d'un patient influence la moyenne générale du groupe. Par conséquent, le test de U de Mann-Whitney sur échantillon indépendant a été effectué une deuxième fois en supprimant les performances de ce patient (simulateur : N=4 ; ordinateur ; N=5). Les résultats demeurent toujours statistiquement significatifs ( $U=0$  ;  $Z=-2.121$  ;  $p=.034$ ) entre le groupe simulateur ( $-119.33 \pm 45.31$ ) et le groupe ordinateur ( $-339.38 \pm 134.45$ ). Ainsi, même après avoir supprimé les performances du patient ayant un gain positif, le gain moyen du groupe simulateur n'atteint pas celui du groupe ordinateur.

### **Synthèse sur l'évolution des performances en situation de conduite sur simulateur**

Pour résumer, les patients du groupe simulateur ont amélioré leur compétence générale de conduite sur autoroute et route nationale (parcours 1), l'adaptation de leur vitesse et le placement de voie en centre ville. Les patients du groupe ordinateur ont quant à eux amélioré leur compétence générale de conduite en centre-ville et montrent une tendance à l'amélioration sur autoroute et nationale. De plus, les temps de réponse des patients entraînés sur ordinateur ont diminué entre le pré-test et le post-test lors de la tâche d'ouverture de portière en condition conversation (double tâche).

## **3. Résultats de l'évaluation sur route**

### **3.1 Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP)**

Lors de l'évaluation pré-training sur route, les résultats des patients du groupe simulateur étaient semblables, d'un point de vue statistique, aux résultats des patients du groupe ordinateur.

En pré-test, seuls 8 patients ont effectué l'évaluation sur route, les 2 autres se sont arrêtés à l'évaluation dans l'enceinte de l'hôpital (essai « intra-muros»). En revanche, lors de l'évaluation post-test, les 10 patients traumatisés crâniens ont réussi l'essai préalable et ont pu continuer jusqu'à la réalisation de l'évaluation sur route réelle. Cependant, leurs résultats ont dû être supprimés lors de l'analyse appariée.

La grille TRIP utilisée par le moniteur d'auto-école pour coter l'évaluation sur route comprenait onze variables pondérées en fonction de leur importance.

#### **a) Groupe entraîné sur simulateur de conduite**

Dans un premier temps nous avons comparé les résultats de l'évaluation sur route entre le pré-test et le post-test, pour les patients du groupe simulateur (N=4).

Le test de Wilcoxon n'a montré aucune différence statistiquement significative entre le pré-test et le post-test (Tableau 16).

Tableau 16. Comparaison des performances *sur route* entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe simulateur

<b>Variables de la grille TRIP (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score total (sur 100)</b>	56.96 (29.25)	60.67 (33.06)	-1.461	0.144
<b>Position latérale (sur 43)</b>	25.00 (19.65)	26.25 (18.84)	-1.633	0.102
<b>Distance de sécurité (sur 11)</b>	9.00 (3.47)	9.33 (2.89)	-1.000	0.317
<b>Adaptation de la vitesse (sur 11)</b>	5.50 (2.65)	7.25 (3.50)	-1.633	0.102
<b>Exploration visuelle (sur 52)</b>	25.00 (14.58)	27.75 (17.35)	-1.633	0.102
<b>Signalisation (sur 8)</b>	4.75 (2.99)	5.25 (3.40)	-1.000	0.317
<b>Dépassement (sur 8)</b>	/	/	/	/
<b>Anticipation (sur 8)</b>	6.00 (2.00)	6.00 (2.00)	0.000	1.000
<b>Communication (sur 8)</b>	5.00 (2.71)	6.25 (3.50)	-1.633	0.102
<b>Situations particulières (sur 64)</b>	27.25 (18.66)	32.00 (22.55)	-1.604	0.109
<b>Opérations mécaniques (sur 12)</b>	8.00 (3.74)	8.75 (4.03)	-1.000	0.317
<b>Impressions générales (sur 12)</b>	6.75 (3.30)	7.50 (4.20)	-1.000	0.317

/ Non applicable

## b) Groupe entraîné sur ordinateur

Dans un second temps, les mêmes analyses ont été effectuées auprès des patients du groupe ordinateur (N=4).

Le test de Wilcoxon apparié a seulement révélé une différence statistiquement significative entre le pré-test et le post-test pour le sous-score adaptation de la vitesse. De plus, une tendance à la significativité a été mise en évidence pour les sous-scores exploration visuelle et situations particulières.

Tableau 17. Comparaison des performances *sur route* entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe ordinateur

<b>Variables de la grille TRIP (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score total (sur 100)</b>	76.10 (5.20)	80.83 (14.33)	-1.069	0.285
<b>Position latérale (sur 43)</b>	34.25 (6.08)	39.75 (5.25)	-1.342	0.180
<b>Distance de sécurité (sur 11)</b>	9.00 (0.01)	10.00 (1.16)	-1.414	0.157
<b>Adaptation de la vitesse (sur 11)</b>	8.25 (1.50)	10.25 (1.50)	-2.000	0.046
<b>Exploration visuelle (sur 52)</b>	36.50 (3.70)	42.75 (8.88)	-1.841	0.066*
<b>Signalisation (sur 8)</b>	6.75 (1.50)	7.25 (1.50)	-1.000	0.317
<b>Dépassement (sur 8)</b>	6.00 (0.01)	7.00 (1.41)	-1.000	0.317
<b>Anticipation (sur 8)</b>	5.50 (1.00)	7.00 (2.00)	-1.732	0.083
<b>Communication (sur 8)</b>	6.50 (3.00)	6.50 (3.00)	0.000	1.000
<b>Situations particulières (sur 64)</b>	38.00 (12.54)	49.75 (17.44)	-1.826	0.068*
<b>Opérations mécaniques (sur 12)</b>	9.38 (0.75)	10.75 (1.26)	-1.604	0.109
<b>Impressions générales (sur 12)</b>	8.00 (1.16)	10.75 (2.50)	-1.633	0.102

\* tendance à la significativité (p&lt;.07)

Lors du post-test, les patients entraînés sur ordinateur ont roulé à une vitesse plus adaptée, ont mieux exploré l'environnement et ont eu un comportement plus adapté lors de situations particulières (comme par exemple les tourne-à-gauche).

## c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney n'a montré aucune différence statistiquement significative entre les groupes, ni au pré-test, ni au post-test. Les patients entraînés sur simulateur de conduite avaient donc un niveau de départ équivalent et se sont améliorés de manière comparable à ceux du groupe ordinateur.

### 3.2 Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): scores complémentaires

Des calculs complémentaires ont été effectués à partir des résultats de la grille TRIP, de façon à obtenir : un score tactique, un score opérationnel et un score de compensation tactique. Pour rappel, le score opérationnel consiste à ajouter le sous-score opérations mécaniques au sous-score position latérale moyenne et stabilité de la trajectoire. Le score tactique est représenté par la somme des quatre échelles suivantes : choix de file, distance de sécurité, vitesse, anticipation. Enfin, le score de compensation tactique résulte de la formule suivante : (distance de sécurité) + (vitesse) + (anticipation /8 \* 10) (De Raedt, 2000). À partir de ces nouveaux scores, les mêmes analyses ont été effectuées sur échantillons appariés puis sur échantillons indépendants.

Les scores complémentaires de l'évaluation pré-training sur route, étaient semblables, d'un point de vue statistique, entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur.

#### a) Groupe entraîné sur simulateur de conduite

Seule une tendance à la significativité pour le score tactique est mise en évidence par le test de Wilcoxon apparié. Les patients ayant bénéficié du training sur simulateur de conduite ont obtenu un score plus élevé en post-test qu'en pré-test. L'importance des écarts-types s'explique par les performances d'un patient qui a obtenu des scores bien plus faibles que les autres (Tableau 18).

Tableau 18. Comparaison des scores complémentaires de l'évaluation sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe simulateur

<b>Scores complémentaires à la grille TRIP</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score tactique</b>	25.00 (18.13)	28.75 (17.97)	-1.841	0.066*
<b>Score opérationnel</b>	24.25 (15.26)	25.00 (16.02)	-1.000	0.317
<b>Score de compensation tactique</b>	11.38 (5.12)	11.38 (4.71)	0.000	1.000

\* tendance à la significativité ( $p < .07$ )

L'entraînement sur simulateur semble donc améliorer le niveau tactique de la conduite, relatif aux comportements et décisions prises dans le trafic réel.

#### b) Groupe entraîné sur ordinateur

Concernant le groupe ordinateur, les résultats sont similaires à ceux du groupe simulateur, à savoir une tendance à la significativité du score tactique, en faveur du post-test (Tableau 19).

Tableau 19. Comparaison des scores complémentaires de l'évaluation sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les patients du groupe ordinateur

<b>Scores complémentaires à la grille TRIP</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score tactique</b>	35.50 (4.12)	42.00 (6.73)	-1.841	0.066*
<b>Score opérationnel</b>	31.38 (3.09)	35.75 (4.03)	-1.604	0.109
<b>Score de compensation tactique</b>	12.63 (1.75)	14.50 (3.00)	-1.732	0.083

\* tendance à la significativité ( $p < .07$ )

## c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney n'a montré aucune différence statistiquement significative entre les groupes, ni au pré-test, ni au post-test. Les patients entraînés sur simulateur de conduite avaient donc un niveau de départ équivalent et se sont améliorés de manière comparable au groupe ordinateur.

**Synthèse sur l'évolution des performances en situation de conduite réelle**

Pour résumer, on observe une amélioration des patients du groupe ordinateur au niveau de l'adaptation de leur vitesse et une tendance pour l'exploration visuelle et les situations particulières. Les deux groupes ont également progressé sur l'aspect tactique de la conduite automobile.

**4. Synthèse des résultats des patients traumatisés crâniens**

Les analyses de comparaisons intra-groupe et inter-groupe concernant les patients traumatisés crâniens ont révélé :

- **Pour l'évaluation neuropsychologique :**

Les deux groupes ont obtenu des performances similaires en pré-test, excepté pour le test de Mesulam organisé. Une légère amélioration est observée pour les deux groupes concernant le nombre de déficits attentionnels par rapport à la norme. Aucune différence significative aux tests informatisés n'est mise en évidence pour les deux groupes entre le pré-test et le post-test. Le groupe simulateur ne montre pas non plus d'amélioration aux tests papier-crayon. En revanche, on note une diminution des temps de réponse à deux tests neuropsychologiques papier-crayon pour le groupe ordinateur (TMT B, Mesulam désorganisé).

- **Pour l'évaluation sur simulateur de conduite :**

Les deux groupes ont obtenu des performances similaires en pré-test pour toutes les variables de l'évaluation sur simulateur de conduite. Le groupe simulateur a amélioré sa compétence générale de conduite sur autoroute, l'adaptation de sa vitesse et le placement de voie. On note également une amélioration tendancielle concernant l'exploration visuelle, la réussite aux intersections et le respect de la signalisation. Le groupe ordinateur a amélioré significativement sa compétence générale de conduite en centre-ville et ne montre qu'une tendance sur autoroute. De plus, les patients entraînés sur ordinateur sont plus rapides pour réagir en post-test face à un événement soudain lors d'une condition de double tâche, par rapport au pré-test ; et le coût dû à cette double tâche diminue aussi en post-test.

- **Pour l'évaluation sur route :**

Les deux groupes ont obtenu des performances similaires en pré-test pour toutes les variables de l'évaluation sur route réelle. Les deux groupes ont amélioré de manière tendancielle leur score tactique de conduite de manière relativement comparable. En revanche, le groupe ordinateur a également progressé de manière significative en ce qui concerne l'adaptation de la vitesse et de manière tendancielle pour l'exploration visuelle et les situations particulières.

En résumé, le groupe ordinateur s'est amélioré (de manière significative ou tendancielle) sur 2 tests neuropsychologiques, 3 variables de l'évaluation sur simulateur de conduite et 4 variables de l'évaluation sur route ; alors que le groupe simulateur s'est amélioré respectivement sur 0, 6 et 1 variable. Autrement dit, le groupe ayant bénéficié du training sur

ordinateur a progressé sur les trois aspects de l'évaluation post-training alors que le groupe ayant bénéficié du training sur simulateur de conduite s'est principalement amélioré à l'évaluation sur simulateur de conduite.



## II. RÉSULTATS DES PERSONNES ÂGÉES

### 1. Résultats de l'évaluation neuropsychologique

#### 1.1 Comparaison des résultats à la norme

Le traitement des données du groupe de personnes âgées (N=16) s'est opéré de la même façon que pour le groupe de patients traumatisés crâniens. Ainsi, nous avons comparé dans un premier temps les scores des tests papier-crayon des sujets âgés par rapport à la norme standardisée. Dans un second temps, les scores aux tests informatisés ont été analysés par rapport à la norme.

Le Tableau 20 synthétise le nombre de personnes âgées du **groupe simulateur** ayant un score pathologique (soit un rang percentile inférieur à 5) aux tests attentionnels papier-crayon. Concernant le test du PASAT, une personne âgée s'est retrouvée en grande difficulté et n'a pu l'effectuer pour cause d'échec.

Tableau 20. Nombre de personnes âgées ayant un score pathologique aux tests papier-crayon (groupe simulateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test*</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
S <sup>1</sup> : TR dénomination	0/8	0/8	M <sup>3</sup> : TR désorganisé	0/8	0/8
S : TR lecture	0/8	1/8	M : TR organisé	0/8	0/8
S : TR interférence	0/8	0/8	M : erreur désorganisé	0/8	0/8
S : inter-dénomination	0/8	0/8	M : erreur organisé	1/8	1/8 <sup>5</sup>
P <sup>2</sup> : bonne réponses	0/7	0/7	TMT <sup>4</sup> A : TR	0/8	0/8
P : erreur Télescopage	0/7	0/7	TMT B : TR	0/8	0/8
P : erreur Calcul	0/7	0/7	TMT B-TMT A	0/8	0/8
P : erreur non-réponse	0/7	0/7			

<sup>1</sup>S. Stroop

\* Nombre de patients / Effectif total du groupe

<sup>2</sup>P. PASAT

<sup>3</sup>M. Mesulam

<sup>4</sup>TMT. Trail Making Test

<sup>5</sup>il ne s'agit pas de la même personne qu'en pré-test

Le Tableau 21 comptabilise le nombre de personnes âgées du **groupe ordinateurur** ayant un score pathologique aux tests attentionnels papier-crayon en fonction des variables citées précédemment.

Tableau 21. Nombre de personnes âgées ayant un score pathologique aux tests papier-crayon (groupe ordinateurur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test*</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
S <sup>1</sup> : TR dénomination	1/8	1/8	M <sup>3</sup> : TR désorganisé	0/8	0/8
S : TR lecture	0/8	0/8	M : TR organisé	0/8	0/8
S : TR interférence	0/8	0/8	M : erreur désorganisé	0/8	0/8
S : inter-dénomination	0/8	0/8	M : erreur organisé	0/8	0/8
P <sup>2</sup> : bonne réponses	1/8	0/8	TMT <sup>4</sup> A : TR	0/8	0/8
P : erreur Télescopage	0/8	1/8	TMT B : TR	0/8	0/8
P : erreur Calcul	0/8	0/8	TMT B-TMT A	0/8	0/8
P : erreur non-réponse	1/8	0/8			

<sup>1</sup>S. Stroop

\* Nombre de patients / Effectif total du groupe

<sup>2</sup>P. PASAT

<sup>3</sup>M. Mesulam

<sup>4</sup>TMT. Trail Making Test

Le total des scores obtenus aux tests papier-crayon montrent que très peu de personnes âgées ont obtenu des scores dits pathologiques aux tests neuropsychologiques. En effet, pour le groupe simulateur, seul 1 score était pathologique en pré-test et 2 en post-test ; et pour le groupe ordinateur on compte 3 scores pathologiques en pré-test et 2 en post-test. Tous ces scores pathologiques concernaient 6 personnes âgées différentes.

Concernant les résultats aux tests informatisés TEA, les 16 personnes âgées ont effectué l'intégralité des tâches, cependant les données normées du logiciel n'étaient pas toutes disponibles pour le sub-test vigilance. Ainsi, seuls les scores de cinq personnes âgées ont pu être comparés à la norme (trois dans le groupe simulateur et deux dans le groupe ordinateur).

Le Tableau 22 récapitule le nombre de patients du **groupe simulateur** ayant un trouble attentionnel (soit un rang percentile inférieur à 25). De plus, il spécifie entre parenthèses le nombre de patients ayant un score pathologique (inférieur au rang percentile 5) parmi ces derniers.

Tableau 22. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe simulateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
AP <sup>1</sup> : TR sans	1/8 (0/8)	0/8 (0/8)	Vigi <sup>3</sup> : TR	2/3 (0/3)	1/3 (0/3)
AP : TR avec	2/8 (0/8)	0/8 (0/8)	Vigi : nb FA	3/3 (0/3)	1/3 (0/3)
AP : index	3/8 (2/8)	1/8 (1/8)	Vigi : nb Om	2/3 (0/3)	0/3 (0/3)
AD <sup>2</sup> : TR aud	2/8 (0/8)	3/8 (0/8)	GO <sup>4</sup> : TR	0/8 (0/8)	2/8 (0/8)
AD : TR visuel	1/8 (0/8)	0/8 (0/8)	GO : nb FA	2/8 (0/8)	2/8 (0/8) <sup>5</sup>
AD : nb FA	5/8 (2/8)	3/8 (1/8)	GO : nb Om	0/8 (0/8)	1/8 (0/8)
AD : nb Om	2/8 (0/8)	2/8 (0/8) <sup>5</sup>			

<sup>1</sup>AP. Alerte Phasique (sans avertisseur, avec avertisseur et index d'alerte)

<sup>2</sup>AD. Attention Divisée (TR auditif, TR visuel, nombre de fausses alarmes et nombre d'omissions)

<sup>3</sup>Vigi. Vigilance

<sup>4</sup>GO. Go/No-go

<sup>5</sup> ce ne sont pas les mêmes personnes qu'en pré-test

Le rapport à la norme des scores obtenus aux tests informatisés TEA pour le groupe simulateur, montre qu'il y avait 25 scores déficitaires au total à l'évaluation pré-training et 16 à l'évaluation post-training, dont 4 scores pathologiques en pré-test et 2 en post-test.

Le Tableau 23 récapitule le nombre de patients du **groupe ordinateur** ayant un trouble attentionnel ou un score pathologique.

Tableau 23. Nombre de patients ayant un déficit attentionnel au TEA (groupe ordinateur)

<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>Tests</i>	<i>Pré-test</i>	<i>Post-test</i>
AP <sup>1</sup> : TR sans	3/8 (0/8)	2/8 (1/8)	Vigi <sup>3</sup> : TR	2/2 (0/2)	1/2 (0/2)
AP : TR avec	2/8 (0/8)	2/8 (0/8) <sup>5</sup>	Vigi : nb FA	0/2 (0/2)	1/2 (0/2)
AP : index	1/8 (0/8)	0/8 (0/8)	Vigi : nb Om	0/2 (0/2)	0/2 (0/2)
AD <sup>2</sup> : TR aud	4/8 (2/8)	1/8 (1/8)	GO <sup>4</sup> : TR	1/8 (0/8)	0/8 (0/8)
AD : TR visuel	1/8 (0/8)	0/8 (0/8)	GO : nb FA	0/8 (0/8)	2/8 (0/8)
AD : nb FA	2/8 (1/8)	4/8 (2/8)	GO : nb Om	0/8 (0/8)	1/8 (1/8)
AD : nb Om	2/8 (0/8)	2/8 (0/8)			

<sup>1</sup>AP. Alerte Phasique (sans avertisseur, avec avertisseur et index d'alerte)

<sup>2</sup>AD. Attention Divisée (TR auditif, TR visuel, nombre de fausses alarmes et nombre d'omissions)

<sup>3</sup>Vigi. Vigilance

<sup>4</sup>GO. Go/No-go

<sup>5</sup> ce ne sont pas les mêmes personnes qu'en pré-test

Ainsi, parmi les personnes âgées du groupe ordinateur, on note 18 scores déficitaires au TEA en pré-test et 16 en post-test, dont 3 pathologiques en pré-test et 5 en post-test.

### **Synthèse des résultats à l'évaluation neuropsychologique par rapport à la norme**

Les résultats des deux groupes de personnes âgées aux tests papier-crayon ont montré très peu de troubles attentionnels (percentile<5). En revanche, le test informatisé (TEA) a mis en évidence quelques difficultés attentionnelles (percentile<25) pour les deux groupes. En pré-test, le groupe simulateur obtient plus de scores déficitaires que le groupe ordinateur (25 vs 18), mais il s'améliore en post-test pour obtenir des résultats identiques au groupe ordinateur (16 scores déficitaires).

## **1.2 Résultats statistiques**

Il est important de noter que lors du pré-test, les résultats des personnes âgées du groupe simulateur différaient des résultats du groupe ordinateur concernant le sub-test d'alerte phasique. Le groupe simulateur obtenait un moins bon index d'alerte phasique que le groupe ordinateur lors de l'évaluation pré-training.

### a) Groupe entraîné sur simulateur de conduite

Dans un premier temps, nous avons analysé les résultats aux tests neuropsychologiques entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training, pour le groupe simulateur (N=8). Parmi toutes les variables neuropsychologiques citées précédemment, seule une s'est avérée statistiquement significative. Le test de Wilcoxon apparié a montré une différence significative entre le pré-test et le post-test au sub-test alerte phasique pour l'index d'alerte phasique ( $Z=-2.366$  ;  $p=.018$ ). Les personnes âgées ont obtenu un index d'alerte phasique plus élevé en post-test ( $0.057 \pm 0.057$ ) qu'en pré-test ( $-0.026 \pm 0.10$ ). Plus l'index d'alerte phasique est élevé plus l'individu se sert de l'avertisseur visuel. Autrement dit, l'avertisseur visuel avait plutôt tendance à gêner les personnes âgées du groupe simulateur en pré-test (étant donné que l'index est négatif) alors qu'elles semblent s'en servir lors du post-test (index positif).

### b) Groupe entraîné sur ordinateur

Les mêmes analyses ont ensuite été effectuées auprès des personnes âgées du groupe entraîné sur ordinateur. Concernant l'index d'alerte phasique, aucune différence statistiquement significative n'apparaît pour le groupe ayant suivi le training sur ordinateur ( $Z=-0.420$  ;  $p=.674$ ), contrairement au groupe simulateur.

Cependant, le groupe ordinateur s'est amélioré de manière significative au test de Go/no-Go ( $Z=-2.521$  ;  $p=.012$ ), à l'inverse du groupe simulateur ( $Z=-0.280$  ;  $p=.779$ ). Les personnes âgées entraînées sur ordinateur ont obtenu à ce test d'attention sélective des temps de réponse plus courts lors de l'évaluation post-training ( $544.50 \pm 46.46$  ms) par rapport à l'évaluation pré-training ( $598.38 \pm 40.48$  ms).

De plus, le test de Wilcoxon apparié a montré une différence qui tend à être significative chez le groupe ordinateur pour les temps de réponse au test du Mesulam désorganisé ( $Z=-1.895$  ;  $p=.058$ ). En effet, les personnes âgées ont tendance à être plus rapides pour effectuer cette tâche lors de l'évaluation post-training ( $58.25 \pm 6.09$  sec) comparé à l'évaluation pré-training ( $68.63 \pm 6.09$  sec).

Les résultats de l'évolution des performances des deux groupes de training sont illustrés par la Figure 16.

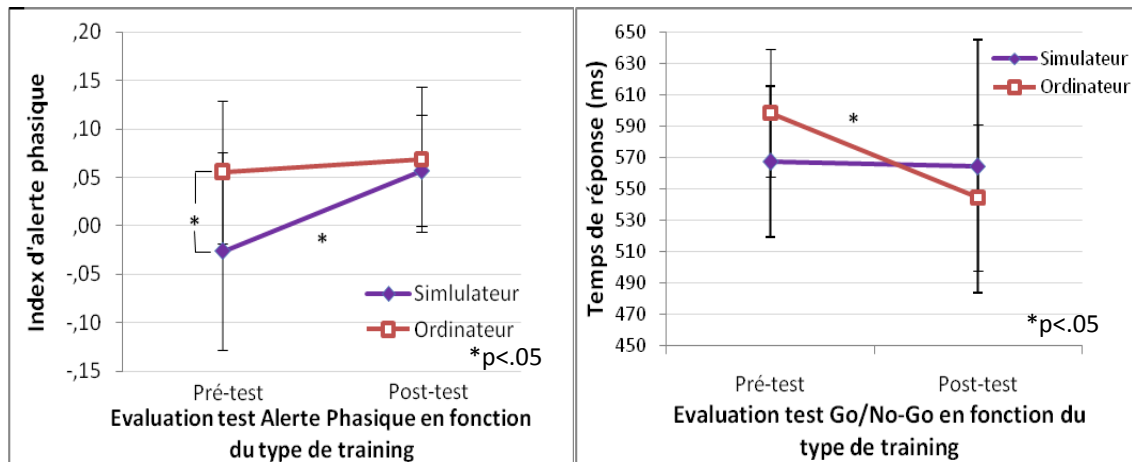


Figure 16. Comparaison des résultats au test d'alerte phasique et Go/No-go (TEA) entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training, en fonction du groupe de training

En résumé, l'entraînement sur simulateur a permis d'améliorer l'alerte phasique, alors que l'entraînement sur ordinateur a permis d'améliorer l'attention sélective.

#### c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney a ensuite été réalisé pour comparer les scores entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur. Les tests statistiques ont montré précédemment que le groupe simulateur s'était amélioré au test d'alerte phasique contrairement au groupe ordinateur. La question que nous nous sommes ensuite posés était de savoir si au départ (pré-test) les deux groupes obtenaient des résultats équivalents ou non. Les analyses ont révélé une différence initiale entre les deux groupes en pré-test pour l'index d'alerte phasique ( $U=13$  ;  $Z=-1.995$  ;  $p=.046$ ). Le groupe simulateur avait dès le départ un moins bon index d'alerte phasique ( $-0.036 \pm 0.10$ ) comparé au groupe ordinateur ( $0.056 \pm 0.07$ ). En revanche, on ne retrouve pas de différence entre les deux groupes pour cette variable lors du post-test ( $U=31.5$  ;  $Z=-0.053$  ;  $p=.958$ ) (Figure 16). En d'autres termes, le groupe simulateur s'est amélioré alors que les performances du groupe ordinateur se sont stabilisées.

De plus, les analyses soulignent une tendance à la significativité entre les deux groupes au post-test pour le temps de réponse au Mesulam désorganisé ( $U=14$  ;  $Z=-1.890$  ;  $p=.059$ ). En post-test, le groupe ordinateur est plus rapide pour répondre à cette tâche ( $58.25 \pm 6.09$  sec) que le groupe simulateur ( $69.63 \pm 13.09$  sec) alors que leurs performances ne différaient pas de manière significative lors de l'évaluation pré-test ( $U=29$  ;  $Z=-0.35$  ;  $p=.753$ ). Ceci corrobore ce que nous avons précédemment observé lors de l'analyse intra-groupe, soit une amélioration de la performance du groupe ordinateur au Mesulam entre le pré-test et le post-test, et aucune amélioration pour le groupe simulateur.

Enfin, une dernière différence a été mise en évidence, elle concerne le coût dû à l'alternance au test TMT (TMTB-TMTA) et elle tend à être significative ( $U=13.5$  ;  $Z=-1.946$  ;  $p=.052$ ). Lors de l'évaluation post-training, le coût de l'alternance est plus fort pour le groupe ordinateur ( $41 \pm 12.54$  sec) que le groupe simulateur ( $30.74 \pm 19.54$  sec) ; alors que ces deux groupes ne différaient pas de manière significative lors de l'évaluation pré-training ( $U=27$  ;  $Z=-0.526$  ;  $p=.599$ ). Le groupe simulateur a donc amélioré sa capacité de flexibilité attentionnelle.

Concernant la comparaison du gain obtenu (différence entre post-test et pré-test), aucune différence significative n'a été retrouvée, que ce soit pour les tests papier-crayon ou les tests informatisés.

### Synthèse sur l'évolution des performances à l'évaluation neuropsychologique

En résumé, les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite ont amélioré leur capacité d'alternance attentionnelle et d'alerte phasique. En effet, l'index d'alerte phasique a progressé jusqu'à atteindre les performances post-test des personnes âgées du groupe ordinateur. Le groupe ordinateur n'a pas amélioré son score d'alerte phasique mais son niveau de départ était déjà significativement meilleur que celui du groupe simulateur, donc plus difficile à améliorer.

En revanche, les personnes âgées entraînées sur ordinateur ont progressé quant à leur capacité d'attention sélective. Ceci s'objective à travers deux mesures, d'une part par une évolution des performances au test Go/No-go entre le pré-test et le post-test ; et d'autre part, par une différence tendancielle entre les deux groupes en post-test au test de Mesulam en faveur du groupe ordinateur.

## 2. Résultats de l'évaluation sur simulateur de conduite

Lors de l'évaluation pré-training sur simulateur de conduite, tous les résultats des personnes âgées du groupe simulateur étaient semblables, d'un point de vue statistique, aux résultats des personnes âgées du groupe ordinateur.

Dans un premier temps nous avons comparé les résultats du groupe entraîné sur simulateur de conduite (N=8) à l'évaluation pré-training et les résultats obtenus à l'évaluation post-training. Ensuite, les mêmes analyses ont été effectuées pour le groupe ayant bénéficié du training ordinateur (N=6, deux sujets âgés ont eu le mal du simulateur).

### 2.1 Groupe entraîné sur simulateur de conduite

Le test de Wilcoxon apparié a fait apparaître une différence statistiquement significative seulement pour le score d'exploration visuelle. Les personnes âgées obtiennent un score plus élevé à l'évaluation post-training ( $8.19 \pm 1.10$  points) comparé au score de l'évaluation pré-training ( $7.25 \pm 1.63$  points) (Tableau 24).

Tableau 24. Comparaison des performances *sur simulateur de conduite* entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe simulateur

<b>Variables des grilles de conduite (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Scores Parcours 1</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 27)</b>	22.44 (3.62)	24.19 (1.94)	-1.409	0.159
<b>Réussite (sur 9)</b>	8.38 (0.92)	8.50 (0.76)	-0.276	0.783
<b>Exploration visuelle (sur 9)</b>	7.25 (1.63)	8.19 (1.10)	-2.226	<b>0.026</b>
<b>Adaptation de la vitesse (sur 9)</b>	6.81 (1.67)	7.50 (1.04)	-0.843	0.399
<b>Scores Parcours 2</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 100)</b>	88.72 (2.61)	89.15 (3.43)	-0.314	0.753
<b>Réussite (sur 32)</b>	29.71 (1.38)	30.43 (1.13)	-1.406	0.160
<b>Exploration visuelle (sur 32)</b>	23.57 (3.16)	23.50 (3.49)	-0.170	0.865
<b>Adaptation de la vitesse (sur 32)</b>	31.00 (0.82)	31.29 (0.57)	-0.966	0.334
<b>Placement de voie (sur 12)</b>	10.50 (1.19)	10.14 (1.52)	-0.707	0.480
<b>Respect de la signalisation (sur 25)</b>	23.21 (1.11)	23.21 (1.15)	0.000	1.000

Concernant la mesure des temps de réponse à l'ouverture de portière, le groupe simulateur obtient une différence significative entre le pré-test et le post-test en simple tâche ( $Z=-2.201$  ;  $p=.028$ ). En effet, dans cette situation, les personnes âgées étaient plus rapides pour répondre à l'ouverture de portière lors de l'évaluation post-training ( $757.33 \pm 62.21$  ms) comparée à l'évaluation pré-training ( $879.17 \pm 100.96$  ms). Par ailleurs, le groupe simulateur améliore aussi, de manière significative, son temps de réponse total lors de cette même tâche ( $Z=-2.197$  ;  $p=.028$ ) en post-test. Leur temps de réponse moyen était meilleur en post-test ( $1004.40 \pm 65.80$  ms) qu'en pré-test de ( $1064.55 \pm 74.49$  ms) (Figure 17).

## 2.2 Groupe entraîné sur ordinateur

Pour le groupe ordinateur, on note une légère amélioration des scores entre le pré-test et post-test, cependant la différence n'est pas statistiquement significative (Tableau 25).

Tableau 25. Comparaison des performances *sur simulateur de conduite entre l'évaluation pré-training et post-training* pour les personnes âgées du groupe ordinateur

<b>Variables des grilles de conduite (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Scores Parcours 1</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 27)</b>	24.00 (2.47)	25.00 (1.92)	-1.156	0.248
<b>Réussite (sur 9)</b>	8.33 (0.82)	8.83 (0.41)	-1.342	0.180
<b>Exploration visuelle (sur 9)</b>	7.92 (1.02)	8.17 (0.68)	-0.849	0.396
<b>Adaptation de la vitesse (sur 9)</b>	7.75 (0.94)	8.00 (1.05)	-0.828	0.408
<b>Scores Parcours 2</b>				
<b>Compétence générale (score total sur 100)</b>	84.40 (3.81)	87.36 (3.07)	-1.363	0.173
<b>Réussite (sur 32)</b>	28.67 (2.16)	29.33 (1.21)	-0.632	0.527
<b>Exploration visuelle (sur 32)</b>	19.08 (1.91)	21.17 (3.09)	-1.787	0.074
<b>Adaptation de la vitesse (sur 32)</b>	30.33 (1.25)	30.92 (0.97)	-0.687	0.492
<b>Placement de voie (sur 12)</b>	11.17 (0.26)	11.42 (0.49)	-0.966	0.334
<b>Respect de la signalisation (sur 25)</b>	23.00 (1.41)	23.33 (1.03)	-0.707	0.480

\* tendance à la significativité ( $p<.07$ )

Concernant les mesures de temps de réaction, le test de Wilcoxon apparié ne révèle aucune différence significative entre le pré-test et le post-test pour le groupe ordinateur.

La Figure 17 illustre l'amélioration des personnes âgées du groupe simulateur lors de la tâche d'ouverture de portière, pour le TR total et le TR en simple tâche (en comparaison avec les TR obtenus par le groupe ordinateur).

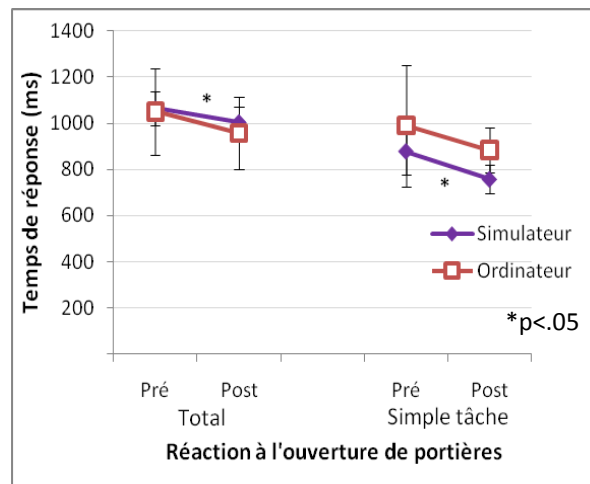


Figure 17. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'ouverture de portière sur simulateur de conduite entre le pré-test et le post-test, en fonction du type de training

On s'aperçoit que les deux groupes sont plus rapides pour répondre lors du post-test, que ce soit au TR total ou au TR en simple tâche. Cependant, seule la progression du groupe simulateur est significative.

### 2.3 Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée entre les groupes simulateur et ordinateur lors du pré-test. Leur niveau de départ était donc semblable.

En revanche, on observe une différence significative entre les groupes lors du post-test concernant le score de double tâche ( $U=1$  ;  $Z=-2.918$  ;  $p=.004$ ). Ce score comprend toutes les variables de la grille (réussite, signalisation, placement, vitesse et exploration) mais ne mesure les performances de l'individu que lors de la double tâche (conversation avec l'expérimentateur). Le groupe simulateur obtient un score en double tâche significativement plus élevé ( $21.5 \pm 0.5$  points) que le groupe ordinateur ( $18.33 \pm 2.84$  points) en post-test, alors que ce score ne différerait pas de manière significative lors de l'évaluation pré-training ( $U=16.5$  ;  $Z=-0.648$  ;  $p=.517$ ). Les personnes âgées entraînées sur simulateur auraient donc amélioré leur performance de conduite globale sous la condition de double tâche comparée au groupe ordinateur.

Concernant le gain obtenu entre le pré-test et le post-test, le test de U de Mann-Whitney ne révèle aucune différence statistiquement significative entre les deux groupes de training.

#### Synthèse sur l'évolution des performances à l'évaluation sur simulateur de conduite

Les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite se sont davantage améliorées que les personnes ayant bénéficié du training sur ordinateur lors de l'évaluation sur simulateur. En effet, lors du post-test, le groupe simulateur a mieux exploré l'environnement routier. De plus, la conversation avec l'expérimentateur (double tâche) a eu un impact moindre sur leur performance de conduite en post-test. Enfin, le training sur simulateur a permis aux personnes âgées d'être plus rapides pour réagir et freiner à l'ouverture de portières, de manière globale et spécifique en condition de simple tâche.

En revanche, le groupe ordinateur ne s'est amélioré sur aucune variable de la grille, ni sur les temps de réaction.

### 3. Résultats de l'évaluation sur route

#### 3.1 Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): grille

On accordera une attention particulière sur le fait que lors du pré-test, le groupe simulateur avait déjà des performances qui différaient de celles du groupe ordinateur. Cela concernait le score total, le sous-score de position latérale, de signalisation et de communication. La différence obtenue était toujours en faveur du groupe simulateur.

##### a) Groupe entraîné sur simulateur de conduite

Dans un premier temps nous avons comparé les résultats de l'évaluation sur route entre le pré-test et le post-test, pour les personnes âgées du groupe simulateur (N=8). Le test de Wilcoxon apparié a révélé une seule différence statistiquement significative, il s'agit du sous-score situations particulières. Les personnes âgées du groupe simulateur ont obtenu un score plus élevé en post-test qu'en pré-test (Tableau 26).

Tableau 26. Comparaison des performances sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe simulateur

<b>Variables de la grille TRIP (en points)</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score total (sur 100)</b>	81.16 (5.81)	85.53 (11.22)	-1.120	0.263
<b>Position latérale (sur 43)</b>	40.25 (3.28)	40.50 (3.78)	-0.351	0.726
<b>Distance de sécurité (sur 11)</b>	9.00 (2.45)	9.38 (2.72)	-0.602	0.547
<b>Adaptation de la vitesse (sur 11)</b>	8.13 (2.10)	9.13 (2.03)	-0.948	0.343
<b>Exploration visuelle (sur 52)</b>	38.88 (3.44)	41.38 (7.84)	-0.911	0.362
<b>Signalisation (sur 8)</b>	7.38 (0.74)	7.13 (0.84)	-0.707	0.480
<b>Dépassement (sur 8)</b>	/	/	/	/
<b>Anticipation (sur 8)</b>	6.75 (1.04)	7.38 (1.41)	-1.222	0.222
<b>Communication (sur 8)</b>	6.67 (1.21)	6.83 (1.84)	-1.138	0.890
<b>Situations particulières (sur 64)</b>	33.88 (6.83)	49.38 (13.97)	-2.201	<b>0.028</b>
<b>Opérations mécaniques (sur 12)</b>	10.38 (1.69)	10.63 (1.19)	-0.137	0.891
<b>Impressions générales (sur 12)</b>	10.50 (1.41)	10.94 (1.74)	-0.597	0.551

/ Non applicable

##### b) Groupe entraîné sur ordinateur

Dans un second temps, les mêmes analyses ont été effectuées auprès des personnes âgées du groupe ordinateur (N=8). Le test de Wilcoxon apparié souligne une différence significative entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training dans sept variables sur onze de la grille ainsi qu'au score total. De plus, on note une amélioration tendancielle pour deux autres sous-scores de la grille. Autrement dit, seul deux sous-scores sont restés stables entre le pré-test et le post-test : la distance de sécurité et le dépassement. Le Tableau 27 récapitule les valeurs statistiques de toutes les variables de la grille TRIP pour le groupe ayant bénéficié du training sur ordinateur.



Tableau 27. Comparaison des performances *sur route* entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe ordinateur

<i>Variables de la grille TRIP (en points)</i>	<i>Moyenne Pré-test (ET)</i>	<i>Moyenne Post-test (ET)</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
<i>Score total (sur 100)</i>	73.77 (7.55)	88.51 (5.80)	-2.521	<b>0.012</b>
<i>Position latérale (sur 43)</i>	35.63 (5.04)	41.00 (2.07)	-2.527	<b>0.012</b>
<i>Distance de sécurité (sur 11)</i>	9.38 (2.00)	11.00 (0.54)	-1.769	0.077
<i>Adaptation de la vitesse (sur 11)</i>	7.75 (1.49)	9.63 (1.19)	-2.226	<b>0.026</b>
<i>Exploration visuelle (sur 52)</i>	36.63 (5.21)	43.00 (4.24)	-1.859	0.063*
<i>Signalisation (sur 8)</i>	6.50 (0.93)	7.63 (0.74)	-2.121	<b>0.034</b>
<i>Dépassement (sur 8)</i>	5.33 (1.16)	6.00 (2.00)	-0.577	0.564
<i>Anticipation (sur 8)</i>	6.00 (1.07)	7.25 (1.17)	-2.197	<b>0.028</b>
<i>Communication (sur 8)</i>	4.83 (1.47)	7.17 (1.17)	-1.903	0.057*
<i>Situations particulières (sur 64)</i>	32.00 (9.74)	49.38 (11.69)	-2.100	<b>0.036</b>
<i>Opérations mécaniques (sur 12)</i>	9.25 (0.89)	11.25 (0.89)	-2.226	<b>0.026</b>
<i>Impressions générales (sur 12)</i>	9.50 (1.2)	11.75 (0.71)	-2.264	<b>0.024</b>

\* tendance à la significativité ( $p < .07$ )

En résumé, les personnes âgées entraînées sur ordinateur ont amélioré leur compétence globale de conduite avec une progression dans pratiquement toutes composantes de la grille d'évaluation de la performance de conduite.

#### c) Comparaison inter-groupe (échantillon indépendants)

Concernant les analyses de comparaison inter-groupe sur échantillons indépendants, le test de U de Mann-Whitney a permis de mettre en évidence des différences significatives entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur lors de l'**évaluation pré-training**. En effet, le groupe ayant bénéficié du training sur simulateur de conduite obtient dès le départ de meilleures performances par rapport au groupe ayant bénéficié du training sur ordinateur. Il s'agit d'une différence statistiquement significative pour le score de position latérale alors que l'on observe des tendances à la significativité pour trois autres variables de la grille TRIP : le score total, le sous-score de signalisation et de communication. Pour ces trois variables, les performances tendent à être supérieures en pré-test pour le groupe simulateur comparé au groupe ordinateur (Tableau 28).

Tableau 28. Comparaison des performances sur route en pré-test entre les personnes âgées du groupe ordinateur et celles du groupe simulateur

<i>Variables de la grille TRIP (en points)</i>	<i>Moyenne Simulateur (ET)</i>	<i>Moyenne Ordinateur (ET)</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>P</i>
<i>Score total (sur 100)</i>	81.16 (5.81)	73.77 (7.55)	-1.944	13.5	0.052*
<i>Position latérale (sur 43)</i>	40.25 (3.28)	35.63 (5.04)	-2.145	12	<b>0.038</b>
<i>Signalisation (sur 8)</i>	7.38 (0.74)	6.50 (0.93)	-1.925	15	0.054*
<i>Communication (sur 8)</i>	6.67 (1.12)	4.83 (1.47)	-1.920	6.5	0.055*

\* tendance à la significativité ( $p < .07$ )

En revanche, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les groupes à l'**évaluation post-training**. Le groupe ordinateur a donc progressé pour atteindre le niveau de performance du groupe simulateur (tout du moins pour les variables listées dans le Tableau 28).

Enfin, on observe des différences significatives entre le **gain** obtenu pour le groupe simulateur et le gain obtenu pour le groupe ordinateur. Nous rappelons que le gain a été calculé en soustrayant les scores obtenus à l'évaluation pré-training aux scores obtenus à l'évaluation post-training. Quatre scores de la grille TRIP ont bien plus augmenté en post-test chez le groupe ordinateur comparé au groupe simulateur (Figure 18).

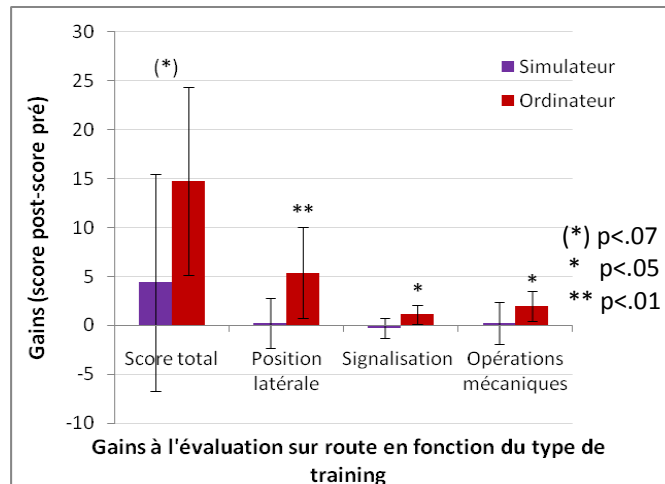


Figure 18. Comparaison du gain obtenu à l'évaluation sur route entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur

Les personnes âgées entraînées sur ordinateur se sont significativement plus améliorées que le groupe simulateur entre le pré-test et le post-test pour le sous-score de position latérale, de signalisation et d'opérations mécaniques. De plus, on note une tendance à la significativité pour le score général de conduite sur route. Le Tableau 29 compare le nombre de points gagnés entre le pré-test et le post-test pour le groupe simulateur et le groupe ordinateur.

Tableau 29. Comparaison du gain obtenu à l'évaluation sur route entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur

Variables de la grille TRIP (en points)	Moyenne	Moyenne	Z	U	P
	Simulateur (ET)	Ordinateur (ET)			
Score total	4.38 (11.13)	14.74 (9.59)	-1.890	14	0.059*
Position latérale	0.25 (2.55)	5.38 (4.66)	-2.562	8	0.010
Signalisation	-0.25 (1.04)	1.13 (0.99)	-2.237	11.5	0.025
Opérations mécaniques	0.25 (2.12)	2.00 (1.51)	-1.981	13.5	0.048

\* tendance à la significativité (p<.07)

Cependant il faut prendre en considération le fait que le groupe simulateur était plus performant que le groupe ordinateur lors de l'évaluation pré-training (cf. paragraphe précédent) pour le score total, la position latérale et la signalisation. Ainsi, leur score étant plus faible dès le départ, il était plus facile de l'améliorer en post-test. Le groupe ordinateur s'est donc amélioré en post-test jusqu'à atteindre le niveau du groupe simulateur, pour ces quatre variables.

### 3.2 Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): scores complémentaires

Nous avons ensuite calculé les scores complémentaires de la grille TRIP : le score tactique, le score opérationnel et le score de compensation tactique. Ces nouveaux scores ont été analysés sur échantillon apparié puis sur échantillon indépendant.

Nous prendrons en compte le fait que lors du pré-test, le score opérationnel différait de manière significative entre les deux groupes. Le groupe simulateur obtenait dès le départ un meilleur score que le groupe ordinateur.

## a) Groupe entraîné sur simulateur de conduite

Le test de Wilcoxon apparié n'a révélé aucune différence significative entre le pré-test et le post-test concernant le score tactique, le score opérationnel et le score de compensation tactique (Tableau 30).

Tableau 30. Comparaison des scores complémentaires de l'évaluation sur route entre l'évaluation pré-training et post-training pour les personnes âgées du groupe simulateur

<b>Scores complémentaires à la grille TRIP</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score tactique</b>	38.38 (4.27)	41.25 (4.98)	-1.544	0.123
<b>Score opérationnel</b>	36.13 (3.76)	36.75 (3.28)	-0.530	0.596
<b>Score de compensation tactique</b>	14.44 (1.76)	14.84 (2.42)	-0.681	0.496

Autrement dit, les personnes âgées qui ont bénéficié du training sur simulateur de conduite ont des résultats équivalents (d'un point de vue statistique) entre le pré-test et le post-test.

## b) Groupe entraîné sur ordinateur

Concernant les personnes âgées ayant bénéficié de l'entraînement sur ordinateur, elles ont amélioré leurs scores au post-test comparé au pré-test. Les résultats ont montré une différence significative entre l'évaluation pré-training et post-training pour le score tactique et opérationnel ; ainsi qu'une tendance à la significativité pour le score de compensation tactique. (Tableau 31).

Tableau 31. Significativité statistique des scores complémentaires au test sur route entre le pré-test et le post-test pour les personnes âgées du groupe ordinateur

<b>Scores complémentaires à la grille TRIP</b>	<b>Moyenne Pré-test (ET)</b>	<b>Moyenne Post-test (ET)</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>Score tactique</b>	36.00 (4.93)	42.63 (2.13)	-2.524	0.012
<b>Score opérationnel</b>	32.00 (4.04)	37.38 (2.56)	-2.371	0.018
<b>Score de compensation tactique</b>	13.38 (1.87)	14.81 (1.44)	-1.895	0.058*

\* tendance à la significativité ( $p < .07$ )

Ceci reflète donc une progression des personnes âgées entraînées sur ordinateur, en ce qui concerne le comportement et les décisions prises dans le trafic réel, ainsi que la mise en œuvre immédiate de ces actions et l'ajustement en cas de danger.

## c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney a révélé une différence significative en pré-test entre les deux groupes ( $U=12.5$  ;  $Z=-2.059$  ;  $p=.040$ ). Lors de l'évaluation pré-training, le groupe simulateur avait un score opérationnel plus élevé ( $36.13 \pm 3.76$ ) que le groupe ordinateur ( $32 \pm 4.04$ ).

La Figure 19 illustre les différences des scores complémentaires entre les groupes en fonction de l'évaluation pré et post-training.

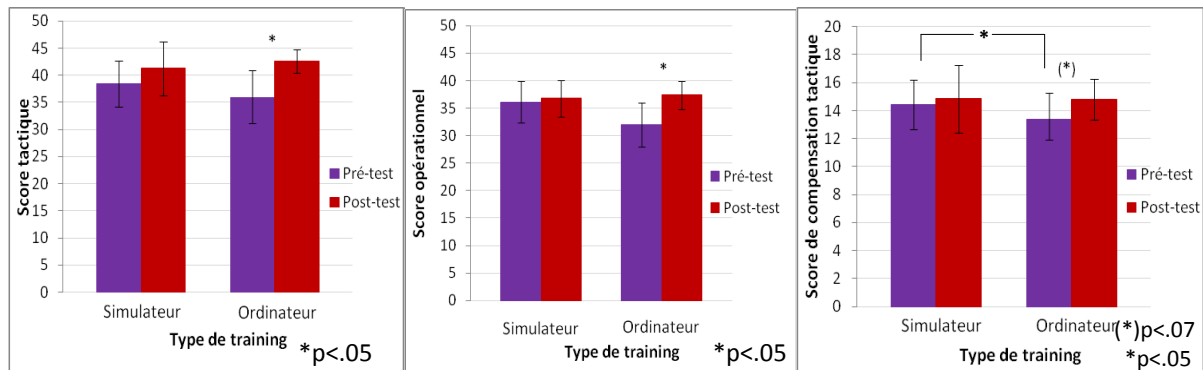


Figure 19. Comparaison des scores complémentaires entre le pré-test et le post-test en fonction du groupe de training

### Synthèse de l'évolution des performances à l'évaluation sur route

En résumé, le groupe ordinateur s'est bien plus amélioré que le groupe simulateur lors de l'évaluation sur route. Les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite ont seulement progressé en situations particulières (par exemple : les tourne-à-gauche). En revanche, les personnes entraînées sur ordinateur ont amélioré leur compétence générale de conduite sur route et ceci se reflète dans la majorité des sous-scores de la grille TRIP. De plus, le groupe ordinateur a amélioré de manière significative le niveau tactique et opérationnel de la conduite et de manière tendancielle le score de compensation tactique.

Cependant, le groupe simulateur était plus performant lors du pré-test que le groupe ordinateur pour certaines variables de la grille (position latérale, signalisation, communication et score de compensation tactique). Ainsi, concernant ses variables spécifiques, le groupe ordinateur a progressé pour atteindre le niveau du groupe simulateur.

## 4. Synthèse des résultats des personnes âgées

Les analyses de comparaison intra-groupe et inter-groupe concernant les personnes âgées ont révélé :

### - Pour l'évaluation neuropsychologique :

Lors du pré-test, le groupe ordinateur obtient un nombre de scores déficitaires aux tests neuropsychologiques légèrement supérieur au groupe simulateur. Cependant, il progresse en post-test pour atteindre le niveau du groupe simulateur.

On note également une différence entre les groupes au pré-test concernant l'index d'alerte phasique, en faveur du groupe ordinateur. En post-test, le groupe simulateur s'est amélioré pour rejoindre le niveau du groupe ordinateur.

Enfin, le groupe ordinateur a amélioré ses capacités d'attention sélective (Mesulam désorganisé et Go/No-go), alors que le groupe simulateur a amélioré ses capacités de flexibilité attentionnelle (coût dû à l'alternance au TMT) et d'alerte phasique.

### - Pour l'évaluation sur simulateur de conduite :

Les deux groupes (simulateur vs ordinateur) ont obtenu des performances similaires en pré-test pour toutes les variables de l'évaluation sur simulateur de conduite.

Seules les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite se sont améliorées lors de l'évaluation sur simulateur. En effet, ces dernières ont mieux exploré l'environnement routier, ont amélioré leur score à la grille en double tâche et ont été plus rapides pour percevoir le danger (TR total et de simple tâche lors de la tâche d'ouvertures de portières).

- **Pour l'évaluation sur route :**

On note une différence importante entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur concernant l'amélioration des performances de conduite sur route réelle, en faveur du groupe ordinateur. Dès l'évaluation pré-training, les personnes âgées entraînées sur simulateur ont obtenu de meilleurs résultats que le groupe ordinateur. La marge de progression était donc plus importante pour le groupe ordinateur. Cependant, cela ne concernait que certaines variables. Les variables pour lesquelles le niveau de départ était identique entre les deux groupes sont nombreuses et toutes ont vu leur score progresser entre le pré-test et le post-test chez les personnes entraînées sur ordinateur. Le groupe simulateur s'est simplement amélioré dans la gestion des situations particulières. En revanche, le groupe ordinateur a amélioré sa compétence globale de conduite, impliquant également une progression significative de sept variables spécifiques et tendancielle pour deux autres variables. De plus, l'ordinateur aurait permis d'améliorer l'aspect tactique et opérationnel de la conduite, ainsi que de développer des mécanismes de compensation tactique.

En résumé, le groupe ordinateur s'est amélioré (de manière significative ou tendancielle) sur 2 tests neuropsychologiques, aucune variable de l'évaluation sur simulateur de conduite et 13 variables de l'évaluation sur route ; alors que le groupe simulateur s'est amélioré respectivement sur 2, 4 et 1 variable. Les personnes âgées ayant bénéficié du training sur ordinateur ont donc principalement progressé à l'évaluation sur route réelle alors que les personnes âgées qui ont suivi le training sur simulateur de conduite se sont majoritairement améliorées à l'évaluation sur simulateur de conduite.

### **III. ANALYSES INDIVIDUELLES ET CHRONOLOGIQUES DES PERFORMANCES AU TRAINING CHEZ LES PATIENTS TRAUMATISÉS CRÂNIENS**

Jusqu'à présent, seuls les résultats concernant l'évaluation pré et post-training ont été exploités avec pour objectif d'observer d'éventuelles améliorations des performances chez les participants. Cependant, si aucune amélioration n'est mise en évidence lors de l'évaluation post-training, deux interprétations distinctes peuvent en découler. Soit le training attentionnel n'a pas eu le bénéfice escompté, soit le bénéfice du training ne s'est pas transféré à l'évaluation post-training. Pour pouvoir identifier l'interprétation qui prévaut, nous avons décidé d'étudier l'évolution des performances des dix patients traumatisés crâniens au cours des neuf sessions de training. L'utilisation du simulateur de conduite nous a permis de recueillir des données pertinentes permettant de détailler, à l'aide de variables de mesures précises, le bénéfice de chaque session de training sur la suivante. En revanche, l'analyse des résultats des patients entraînés sur ordinateur ne comporte aucun traitement statistique. En effet, le logiciel ne permettait pas d'analyser plus en détail les données recueillies.

Dans un premier temps une analyse de groupe a été effectuée pour les patients entraînés sur simulateur de conduite (N=5). Au vu des résultats obtenus, du manque de précision et de la variabilité des profils pour certaines mesures, nous avons décidé d'analyser cas par cas l'évolution des performances des cinq patients.

(Annexe 21 : Résultats de l'analyse de groupe des 5 patients traumatisés crâniens lors du training sur simulateur de conduite)

Les tests statistiques choisis dépendent des variables mesurées. Pour les comparaisons de moyennes à un ou plusieurs facteurs c'est l'analyse de la variance (ANOVA) qui a été utilisée selon le Modèle Linéaire Général (MLG) univarié. La faible taille de l'échantillon (N=10) ne permet pas d'avancer de quelque hypothèse sur la population. Lors de l'analyse de groupe effectuée dans la section précédente, nous avons donc préféré les tests non paramétriques. Cependant, pour une étude de cas, c'est le nombre d'essais par condition expérimentale qui représente l'effectif total. De ce fait, l'ANOVA s'est révélée pertinente et a été choisie pour l'analyse individuelle. L'analyse de la variance a été effectuée avec comme facteur intra-participant le nombre de sessions de training. Des tests «post-hoc» ont ensuite été réalisés. Nous avons choisi le test de Bonferroni pour effectuer ces comparaisons multiples, car il est probablement le test le plus couramment utilisé parmi les tests post-hoc en sciences humaines et sociales (Howell, 1998). Le test de Bonferroni présente l'avantage d'être hautement flexible et peut être utilisé pour tout type de test statistique, pas uniquement après une ANOVA. Concernant les mesures non moyennées, comme par exemple la somme des erreurs par session pour une tâche donnée, c'est le test Q' qui a été utilisé pour permettre d'analyser des proportions pour les études de cas en non paramétrique (Michael, 2007). Enfin, lorsque nous nous intéressons à l'évolution au cours du training de la variabilité intra-session d'une mesure, c'est l'écart-type qui a été observé. Aucune statistique n'a donc été réalisée sur cette valeur puisqu'elle est unique.

Les résultats ont été illustrés par différentes figures selon leur pertinence pour la variable dépendante. Ainsi, nous avons choisi l'histogramme lorsqu'il s'agissait d'une valeur non moyennée (nombre de bonnes réponses par exemple) et le graphique en courbes lorsque nous disposions de moyennes (pour les temps de réponse par exemple). Pour ces deux types de figures, nous avons représenté les barres d'erreur avec l'écart-type.

## 1. Training sur simulateur de conduite

Les cinq études de cas qui vont être présentées suivent la même trame, les mesures utilisées pour chacun des exercices de training attentionnel sur simulateur de conduite seront donc expliquées en détail lors de la première étude de cas et seront ensuite reprises de manière plus succincte lors des études de cas suivantes.

### 1.1 Patient 1

La patiente 1 est une femme de 25 ans, victime d'un accident de la route en 2010. Elle a subi un traumatisme crânien grave (GCS=6) avec des lésions temporo-occipito-pariétales gauches. Elle a effectué l'évaluation pré-training 10 mois après son traumatisme.

#### a) Tâche d'alerte phasique

Dans un premier temps, nous rappelons que la tâche d'alerte phasique était scindée en deux parties de cinq minutes, la première consistait à réagir à l'apparition soudaine de l'obstacle sans qu'il soit prévenu, alors que dans la deuxième partie, les participants étaient prévenus de la survenue de l'obstacle par un avertisseur visuel (triangle rouge), censé faciliter la réaction. Dans le cas où le patient réagissait au stimulus avertisseur au lieu de réagir à l'apparition de l'obstacle, ses temps de réponse n'étaient pas enregistrés. La Figure 20 permet de comparer les temps de réponse moyens du patient 1 obtenus à la tâche d'alerte phasique dans deux conditions expérimentales : avec et sans avertisseur visuel.

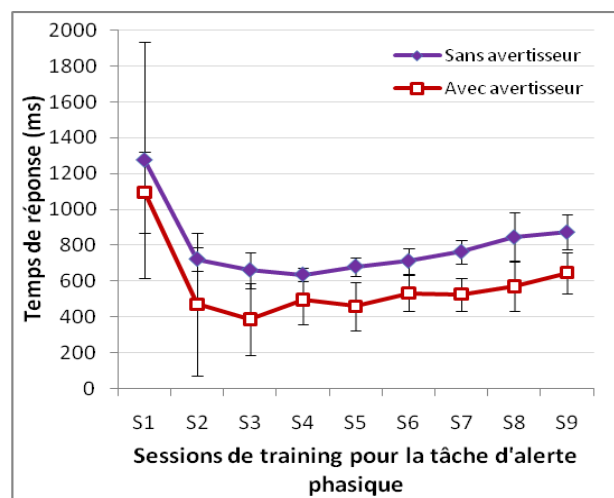


Figure 20 : Evolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 1)

Nous avons effectué une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs indépendants pour voir si il y avait un effet de la condition expérimentale (avec ou sans avertisseur) et/ou un effet des séances de training (avec 9 modalités) sur les temps de réponse. Enfin, l'ANOVA nous a permis de vérifier s'il n'y avait pas d'interaction entre ces deux facteurs. Les résultats ont révélé un effet significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=141.99$  ;  $p<.001$ ). La patiente est plus rapide pour freiner dans la condition avec stimulus avertisseur (TR moyen :  $581.32 \pm 242.97$  ms) en comparaison avec la condition sans avertisseur visuel (TR moyen :  $777.88 \pm 252.47$  ms) toute sessions confondues.

Ensuite, on note un effet de la variable session sur les temps de réponse ( $F(8,17)=44.11$  ;  $p<.001$ ). L'analyse post-hoc avec le test Bonferroni montre que les temps de réponse de la première session diffèrent de manière statistiquement significative des temps de réponse de toutes les autres sessions de training (par exemple  $S1=1185 \pm 443$  ms ;  $S3=524.19$

$\pm 150.41$  ms ;  $p < .001$ ) quelle que soit la condition expérimentale. Cependant, cette chute des temps de réponse est surtout prononcée entre S1 et S2 puisque la deuxième séance diffère seulement avec la dernière et non avec les sessions intermédiaires ( $S2 = 596.19 \pm 233.80$  ms ;  $S9 = 759 \pm 105.5$  ms ;  $p < .050$ ). Cette amélioration des temps de réponse tend ensuite à se stabiliser. Enfin, on observe une différence significative entre la dernière session de training et toutes les autres (à l'exception de S8). Les temps de réponse du patient 1 sont plus élevés en dernière session si on les compare aux sessions qui la précèdent, à l'exception de la première session.

Aucune interaction n'a pu être observée entre ces deux facteurs, démontrant un pattern d'évolution des temps de réponse statistiquement similaires lors de la condition avec ou sans avertisseur. La patiente 1 se sert autant du stimulus avertisseur lors de S1 que de S9.

Dans la condition avec avertisseur visuel, une autre variable a été prise en compte, il s'agit du temps d'alerte, autrement dit du temps entre l'apparition du stimulus avertisseur et l'apparition du stimulus-cible. Nous avons fait varier le temps d'alerte entre les essais expérimentaux, cette variable pouvait prendre cinq valeurs : 100 ms, 300 ms, 500 ms, 1 seconde ou 1.5 seconde. Une ANOVA à un facteur a été réalisée pour analyser les temps de réponse. Étant donné que le facteur analysé (temps d'alerte) comprenait plus de deux modalités, le t de Student ne pouvait s'appliquer. L'analyse n'a montré aucun effet du facteur temps d'alerte sur les temps de réponse à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,43) = 0.76$  ;  $p = .558$ ). Ainsi, le changement du temps d'alerte (court ou long) n'a pas eu d'influence sur les performances du patient 1.

Pour résumer, cette patiente semble utiliser l'avertisseur visuel comme un indice lui permettant de répondre plus rapidement dans la condition avec avertisseur par rapport à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez cette patiente. En revanche, le changement du temps d'alerte n'impacterait pas ses temps de réponse et ne permettrait pas d'aboutir à un temps de réponse optimal.

#### b) Tâche de vigilance

La tâche de vigilance consistait à appuyer sur la pédale de frein le plus rapidement possible lorsque la voiture qui précédait freinait (allumage des feux de stop). Il y avait 12 stimuli, par conséquent 12 temps de réponse ont été recueillis. La moyenne générale de chaque session a été réalisée mais c'est surtout la variance entre les 12 temps de réponse au cours d'une session qui nous a intéressés. La moyenne permet d'avoir une estimation de la vitesse de traitement de l'information, alors que l'écart-type permet d'estimer si le patient traite tout les stimuli de manière comparable durant les dix minutes de la session. Un écart-type élevé révèle alors une grande variabilité des temps de réponse au cours des dix minutes d'exercice et donc une diminution de la capacité de vigilance. La Figure 21 présente les TR moyens et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session.



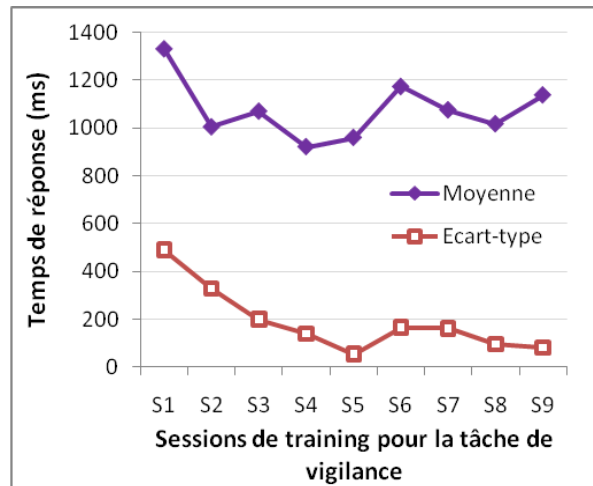


Figure 21. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patient 1)

L'ANOVA à un facteur permet de conclure à un effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,105)=3.43$  ;  $p<.002$ ). Les tests post-hoc montrent que cet effet est dû à une différence significative entre les temps de réponse de la première session ( $S1=1332 \pm 489.64$  ms) et les temps de réponse de la session 2 ( $S2=1004 \pm 328.16$  ms ;  $p<.003$ ), session 4 ( $S4=920 \pm 139.67$  ms ;  $p<.001$ ), session 5 ( $S5= 959.18 \pm 54.37$  ms ;  $p<.008$ ) et session 8 ( $S8=1016.67 \pm 94.37$  ms ;  $p=.046$ ). Lorsqu'on observe la Figure 21, on s'aperçoit qu'il ne s'agit pas d'une diminution progressive des temps de réponse mais plutôt d'une fluctuation d'une séance à une autre.

Cependant, l'écart-type diminue progressivement de la première session à la cinquième session ( $S1=489.64$  ms ;  $S5=54.37$  ms), puis remonte légèrement ( $S6=165.36$  ms ;  $S7=161.47$  ms) pour finalement se stabiliser ( $S8=94.37$  ms). Il semblerait donc que la patiente diminue la variabilité de ses TR au cours des différentes sessions de training.

### c) Tâche d'attention sélective

La tâche d'attention sélective consistait à sélectionner un panneau-cible (information pertinente) parmi tous les panneaux de l'environnement. Pour ce faire, le patient était confronté à des panneaux routiers présentés à gauche de la route et à droite. Le patient devait répondre verbalement par « oui » si la cible était présente et préciser de quel côté elle se situait, ou par « non » si elle était absente. Ainsi, nous avons comptabilisé le nombre d'erreurs effectuées par le patient (erreur d'omission : il répond non au lieu de oui, erreur de confusion : il répond oui au lieu de non ou il répond « oui à droite » au lieu de « oui à gauche »). La variable dépendante utilisée est la somme totale des erreurs. Le test du Q' permet de travailler sur des proportions, ainsi il a été utilisé pour analyser les erreurs. Ce test a été effectué sur le facteur « session de training » à neuf modalités avec pour objectif d'observer l'évolution du nombre d'erreurs d'une session à une autre. Le nombre de facteurs étant inférieur à deux, c'est la version classique du test Q' 2xk qui a été utilisée. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les séances ( $Q'(8)=7.87$  ;  $p=.446$ ). La proportion des erreurs est restée stable d'une séance à une autre. La Figure 22 rapporte le nombre d'erreurs pour chacune des neuf sessions.

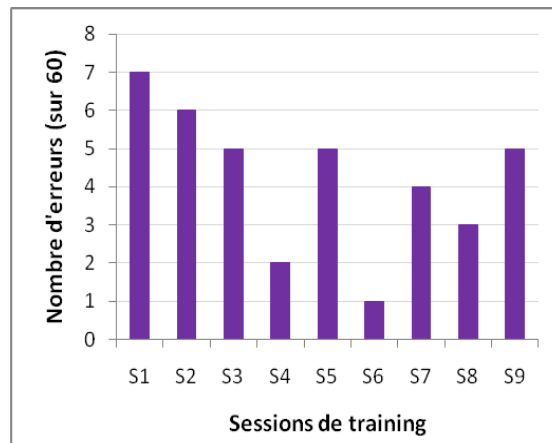


Figure 22. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 1)

Le nombre total d'erreurs du patient 1 était de 38, avec une moyenne de 4 erreurs par session. On note une diminution du nombre d'erreurs de S1 à S4. Cependant ses performances fluctuent constamment. Il n'y a aucune stabilité dans ses réponses, par conséquent, on ne peut conclure à une amélioration entre les séances de training.

#### d) Tâche d'attention divisée

Nous rappelons que cette tâche était composée de deux parties de cinq minutes, une première partie où le participant effectuait la tâche de conduite seule et une deuxième partie où il effectuait en même temps une tâche de calcul mental. Durant les dix minutes d'exercice, des rafales de vent d'intensité différentes intervenaient régulièrement, requérant de la part du patient de maintenir et stabiliser la trajectoire de son véhicule.

Un grand nombre de mesures ont été enregistrées pour la tâche d'attention divisée. Dans un premier temps, le **nombre de franchissements de ligne** a été calculé en simple tâche puis en double tâche, représentant ainsi le nombre d'erreurs. Un franchissement de ligne était considéré à partir du moment où une des roues du véhicule du participant atteignait la ligne blanche de droite ou de gauche qui bordent la voie routière. Le véhicule du participant était de petit gabarit, les mesures ont été établies en fonction d'une voiture de type Clio. Le nombre de franchissement total du patient était de 170.

La première variable dépendante utilisée est donc la somme totale des franchissements de lignes. Le test du Q' a été effectué sur le facteur « tâche » (simple ou double), « côté du franchissement » (droit ou gauche), et « sessions » (au nombre de neuf). Le nombre de facteurs étant supérieur à deux, nous n'avons pu utiliser la version classique du test Q' 2xk. Ainsi, c'est une version modifiée qui a été utilisée : 2x2xk (Michael, 2007). Ce test non paramétrique pour analyse de cas unique a révélé un effet principal de la tâche ( $Q'(1)=5.79$  ;  $p=.016$ ) (Figure 23). La proportion d'erreurs (de franchissement de ligne) était plus importante en double tâche ( $0.034 \pm 0.035$ ) comparée à la simple tâche ( $0.022 \pm 0.018$ ). L'ajout d'une tâche complémentaire a eu pour effet d'augmenter le nombre d'erreurs à la tâche principale de conduite. Le test a ensuite révélé un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=5.79$  ;  $p=.016$ ). La patiente 1 a franchi une proportion plus importante de lignes à droite ( $0.034 \pm 0.034$ ) que de lignes à gauche ( $0.022 \pm 0.019$ ), toute condition confondue (tâche et session). Enfin, l'effet principal de la session s'est avéré très significatif ( $Q'(8)=42.08$  ;  $p<.0001$ ). La proportion des erreurs a progressivement diminué entre la première et la dernière session (S1=0.265 ; S3=0.106 ; S6=0.076 ; S9=0.024).

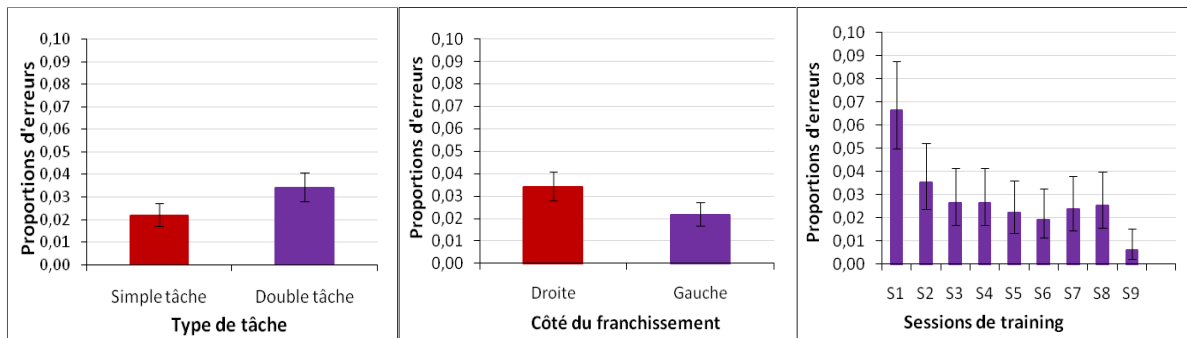


Figure 23. Effet principal du type de tâche, du franchissement et de la session (Patient 1)

Après ces trois effets principaux, l'analyse du Q' a révélé une interaction qui tend à être significative entre la session et le type de tâche ( $Q'(8)=14.63$  ;  $p=.067$ ). Selon les tests de comparaisons multiples l'effet principal de la session (diminution du nombre d'erreur d'une session à une autre) s'observe seulement en double tâche (Figure 24). Cette interaction pourrait s'expliquer par le fait qu'il y ait une différence significative entre S1 et S9 en double tâche ( $Q'(8)=4.99$  ;  $p<.002$ ) alors qu'il n'y en pas en simple tâche. Autrement dit la patiente s'est améliorée entre la première et la dernière session seulement en double tâche.

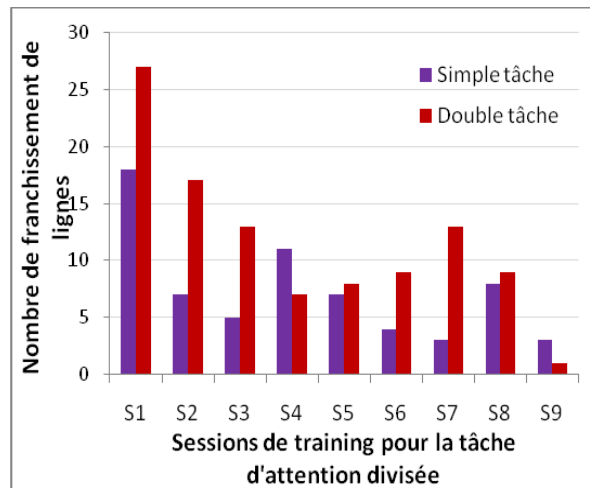


Figure 24. Interaction entre la session de training et le type de tâche (Patient 1)

Enfin, le test du Q' a révélé une double interaction entre la session, le côté de la ligne et le type de tâche ( $Q'(8)=25.09$  ;  $p<.002$ ). La situation pour laquelle la proportion d'erreurs est moindre concerne les franchissements de ligne à droite en situation de simple tâche lors de la dernière session.

Nous avons ensuite calculé la **déviati on standard de la position du véhicule** en fonction du type de tâche (simple ou double) (Figure 25). La déviati on standard du véhicule est représentée par la distance en centimètre entre l'axiale de la route (ligne médiane) et le centre de gravité du véhicule.

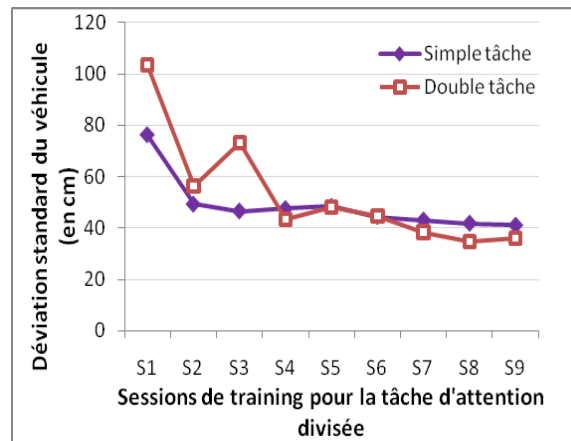


Figure 25. Evolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 1)

Il faudra porter une attention toute particulière sur le fait qu'aucune analyse statistique n'a pu être effectuée sur cette mesure étant donné qu'il s'agit d'une valeur unique (l'écart-type), les résultats sont donc descriptifs. Lorsqu'on prend en compte la déviation moyenne du véhicule, toutes conditions confondues (simple et double tâche), on remarque qu'elle diminue d'une séance à une autre (S1=89.82 cm ; S3=59.92 cm ; S6=44.49 cm ; S9=38.46 cm). Que ce soit en double tâche ou en simple tâche le profil semble similaire, à savoir une diminution progressive en centimètre de la déviation du véhicule. Cependant, cette diminution semble s'accroître lors de la double tâche. En effet, en situation de double tâche l'écart entre la première session et la dernière session est plus important (S1=103.37 cm ; S9=35.90 cm ; écart=67.47 cm) qu'en situation de simple tâche (S1=76.26 cm ; S9=41.01 cm ; écart=35.25 cm).

Enfin, la **vitesse kilométrique** moyenne a été calculée de façon à pouvoir comparer l'allure à laquelle le patient roulait en simple tâche avec son allure kilométrique en double tâche.

Dans un premier temps, L'ANOVA à deux facteurs (sessions et type de tâche) a révélé un effet principal du type de tâche sur la vitesse kilométrique ( $F(1,17)=28.59$  ;  $p<.001$ ). La vitesse kilométrique moyenne, toutes sessions confondues, est plus haute en condition de double tâche ( $79.89 \pm 6.87$  km/h) comparée à la condition de simple tâche ( $74.57 \pm 6.31$  km/h). La patiente roule plus vite lors de la tâche de calcul mental. Un effet principal de la session a ensuite été mis en évidence ( $F(8,17)=9.18$  ;  $p<.001$ ). Le test complémentaire de Bonferroni a révélé une augmentation que la vitesse kilométrique d'une session de training à une autre, tout types de tâches confondues (chaque session diffère au moins d'une session qui la précède ou qui la suit). Enfin, l'interaction session\*tâche s'est aussi révélée significative ( $F(8,17)=3.26$  ;  $p<.003$ ). Les tests post-hoc ont montré un effet plus prononcé de la variable « session » en situation de simple tâche ( $F(8,44)=8.55$  ;  $p<.001$ ) comparée à la situation de double tâche ( $F(8,44)=4.82$  ;  $p<.001$ ). En d'autres termes, la patiente 1 avait tendance à rouler plus vite d'une session sur l'autre et d'autant plus en situation de simple tâche (Figure 26).

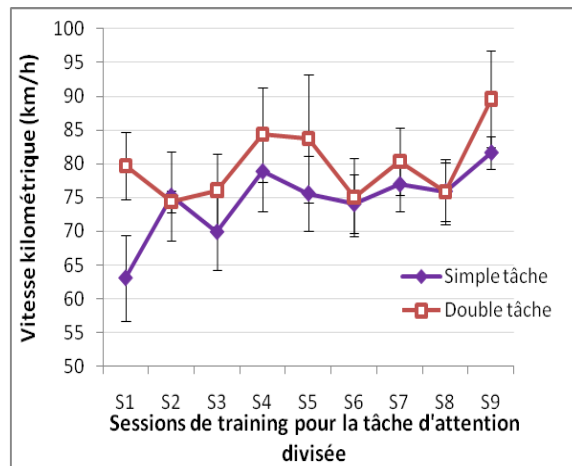


Figure 26. Interaction entre les sessions de training et la condition expérimentale (Patient 1)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations de la vitesse kilométrique au sein d'une session de training (Figure 27).

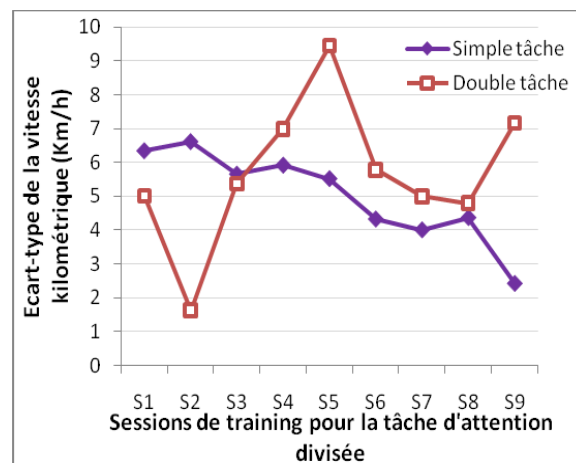


Figure 27. Evolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 1)

Comme précédemment, les résultats sont descriptifs en ce qui concerne l'écart-type. On s'aperçoit que le profil diffère en fonction de la condition expérimentale. En simple tâche l'écart-type de la vitesse kilométrique a tendance à diminuer d'une session à une autre (S1=6.33 ; S3=5.65 ; S6=4.33 ; S9=2.43) alors qu'en double tâche cet écart-type varie constamment (S1=5.02 ; S3=5.37 ; S6=5.78 ; S9=7.17). La patiente 1 a donc une variation intra-session de la vitesse kilométrique qui se stabilise au fur et à mesure des séances de training mais seulement en simple tâche. La double tâche entraînerait une variation constante de la vitesse du véhicule qui persisterait durant l'intégralité du training.

#### e) Synthèse des résultats du patient 1

La patiente 1 semble avoir une **alerte phasique préservée**. En effet, elle se sert de l'avertisseur visuel (triangle rouge) dès la première séance de training puisque ses temps de réponse sont plus rapides que dans la situation sans avertisseur. De ce fait, il n'y a pas d'amélioration notable entre les sessions de training, étant donné que le stimulus avertisseur joue le rôle escompté dès le début du programme d'entraînement. Cependant, on observe une

augmentation de la vitesse de traitement de l'information entre la première et la deuxième session sur les temps de réponse globaux.

La vigilance est la capacité à maintenir son attention durant de longues périodes. L'écart-type des temps de réponse durant une session est donc une mesure de grande importance puisqu'elle révèle la variabilité des réponses au cours du temps (dix minutes). On note une diminution du temps de réponse moyen entre la première et la deuxième session, reflétant une habitude à la tâche. De plus, l'écart-type diminue progressivement de la première à la cinquième session de training, laissant penser que l'homogénéité des temps de réponse intra-session s'améliore au cours du programme de training. Le training attentionnel aurait donc permis une **amélioration de la vigilance** jusqu'à la cinquième séance et se stabiliserait ensuite.

Concernant l'**attention sélective**, il n'y a **pas de réelle amélioration** des performances. Seule une diminution du nombre d'erreurs est observée de la première à la troisième session, révélant une habitude à la tâche.

Enfin, l'ajout d'une tâche secondaire à la tâche de conduite a eu un impact négatif sur les performances de la patiente. En effet, durant la condition de double tâche, la patiente a franchi plus de lignes et a adopté une vitesse kilométrique plus rapide que lors de la condition de simple tâche. On observe une diminution du nombre d'erreurs, mais seulement en double tâche. Le **coût dû à la double tâche a donc diminué** au cours des différentes sessions de training. Ainsi, lors des dernières séances de training, le nombre de lignes franchies en double tâche était semblable au nombre de franchissements en simple tâche. De plus, la déviation standard du véhicule a diminué d'une session à une autre et d'autant plus en double tâche. Pour résumer, la capacité à réaliser deux tâches simultanément a été améliorée au cours du training et ceci s'est objectivé par : une diminution de la déviation du véhicule et une diminution du franchissement de lignes lors des dernières sessions de training en double tâche. Par conséquent, il semblerait que la tâche de calcul mental ait moins d'impact sur les mesures de conduite lors des dernières sessions de training par rapport au début du programme.

## 1.2 Patient 2

Le patient 2 est un homme de 25 ans, victime d'une chute dans un escalier survenue en mai 2007. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=3) avec des lésions principalement fronto-temporales. Il a effectué l'évaluation pré-training 30 mois après son traumatisme.

### a) *Tâche d'alerte phasique*

La Figure 28 permet de comparer les temps de réponse moyens du patient 2 obtenus à la tâche d'alerte phasique dans deux conditions expérimentales : avec et sans avertisseur visuel.

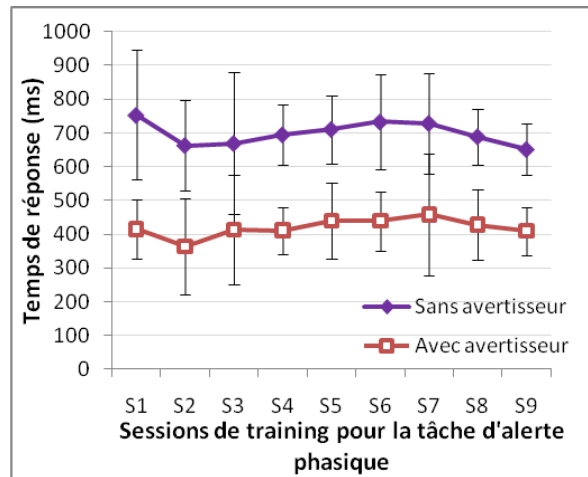


Figure 28. Evolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 2)

L'analyse de la variance a révélé un effet statistiquement significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=504.08$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse du patient étaient plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $423.95 \pm 113.98$  ms) comparés à la condition sans avertisseur visuel ( $699.43 \pm 140.24$  ms) toute session confondue. En revanche, il n'y a pas d'effet de la variable session sur les temps de réponse ni d'interaction entre ces deux facteurs. Ceci laisse supposer qu'il n'y a pas d'amélioration des performances durant l'intégralité du training et que le pattern d'évolution des temps de réponse est similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. Par conséquent, le patient 2 se sert autant du stimulus avertisseur au début de training qu'en fin de training.

Dans la condition avec avertisseur visuel, une autre variable a été prise en compte, il s'agit du temps d'alerte, variable d'un essai à un autre. La Figure 29 présente les temps de réponse moyens à la tâche en fonction du temps d'alerte, toutes sessions confondues.

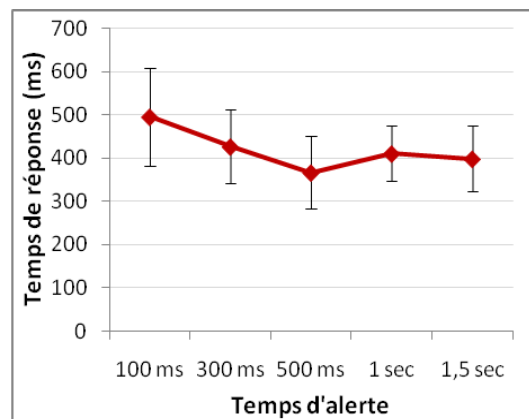


Figure 29. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'alerte en fonction du temps d'alerte (Patient 2)

Une ANOVA à un facteur a été réalisée sur le facteur temps d'alerte avec cinq modalités. Les résultats ont montré un effet principal du temps d'alerte sur les performances à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,44)=10.43$  ;  $p<.001$ ). Les analyses post-hoc montrent que les meilleurs temps de réponse du patient, toutes sessions de training confondues, s'observent lorsque le temps d'alerte est de 500 ms ( $366.44 \pm 83.44$  ms).

Ce patient semble donc utiliser l'avertisseur visuel comme indice puisqu'il répond plus rapidement dans la condition avec avertisseur comparé à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez Le patient 2. De plus, le temps d'alerte impacterait ses temps de réponse et serait optimal à 500 millisecondes.

#### b) Tâche de vigilance

La Figure 30 présente les TR moyens du patient 2 et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session de training.

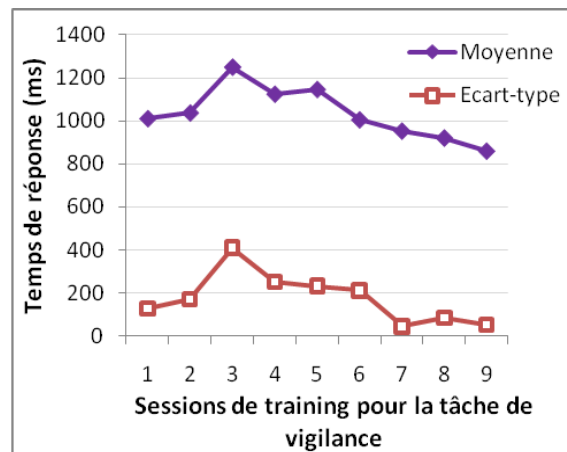


Figure 30. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patient 2)

L'ANOVA à un facteur a révélé un effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,104)=4.08$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse du patient ont diminué à partir de la sixième séance, mais les tests post-hoc ont montré une différence significative seulement entre les TR de la dernière séance et les session qui précèdent. En effet, ce patient est plus rapide lors de la dernière session de training ( $858.08 \pm 51.04$  ms) comparé à la troisième ( $1249.70 \pm 409.61$  ms ;  $p<.001$ ), la quatrième ( $1123.67 \pm 252.11$  ms ;  $p=.063$ ) et la cinquième session ( $1145.67 \pm 232.16$  ms ;  $p=.027$ ). Il s'agit d'une diminution progressive des temps de réponse, ce qui explique que chaque session n'est pas significativement différente des autres.

De plus, lorsqu'on regarde l'écart-type existant entre les douze temps de réponse session par session, on s'aperçoit qu'il est très faible lors des trois dernières sessions de training. Il semblerait donc que Le patient 2 est réduit la variabilité intra-session de ses TR, en plus d'avoir diminué ses temps de réponse moyen. De ce fait, il obtient des résultats plus homogènes durant cette tâche de dix minutes lors des dernières sessions de training.

#### c) Tâche d'attention sélective

Le test  $Q' 2 \times k$  n'a montré aucune différence significative entre les séances à la tâche d'attention sélective ( $Q'(8)=9.23$  ;  $p=.320$ ). Ainsi, la proportion d'erreurs reste stable d'une séance à une autre. Cependant, ce test compare des proportions, le nombre d'erreurs est donc ramené sur le nombre de stimuli total ( $N=60$ ). Or, si l'on regarde la Figure 31, on s'aperçoit que le patient 2 a fait sept erreurs en première session, puis ce chiffre chute brutalement à partir de S2. Il semblerait qu'il y ait un « effet plancher ». La difficulté de la tâche résiderait seulement dans l'effet de nouveauté qu'elle représente (en S1), puis le niveau deviendrait trop facile pour ce patient.



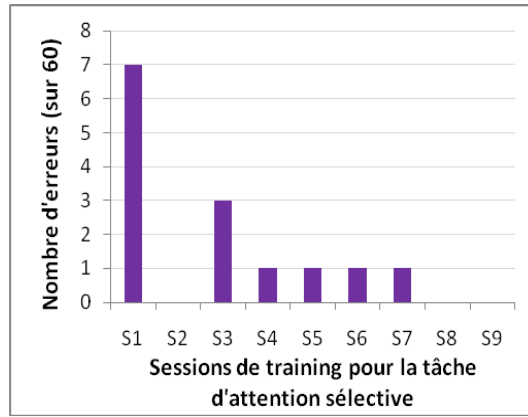


Figure 31. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 2)

d) *Tâche d'attention divisée*

Trois mesures principales ont été enregistrées durant la tâche d'attention divisée : le nombre de franchissements de ligne, la déviation standard de la position du véhicule et la vitesse kilométrique.

Concernant le **nombre de franchissements de ligne**, le test du Q' modifié 2x2xk a mis en exergue un effet principal du type de tâche ( $Q'(1)=8.97$  ;  $p<.003$ ) (Figure 32). Le nombre d'erreurs de franchissement de ligne était plus important en double tâche ( $157 \pm 5.61$ ) qu'en simple tâche ( $99 \pm 5.46$ ). L'ajout d'une tâche complémentaire (calcul mental) a donc eu pour effet d'augmenter le nombre d'erreurs à la tâche principale de conduite. Le test a ensuite indiqué un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=22.61$  ;  $p<.0001$ ). Le patient 2 a franchi plus de lignes à gauche ( $174 \pm 6.11$ ) que de lignes à droite ( $82 \pm 3.96$ ) toutes conditions confondues (tâche et session). Enfin, l'effet principal de la session s'est avéré très significatif ( $Q'(8)=36.88$  ;  $p<.0001$ ). Le nombre d'erreurs a diminué progressivement entre la première et la dernière session (S1=50 ; S3=32 ; S6=19 ; S9=13). Le nombre de franchissements total du patient était de 256.

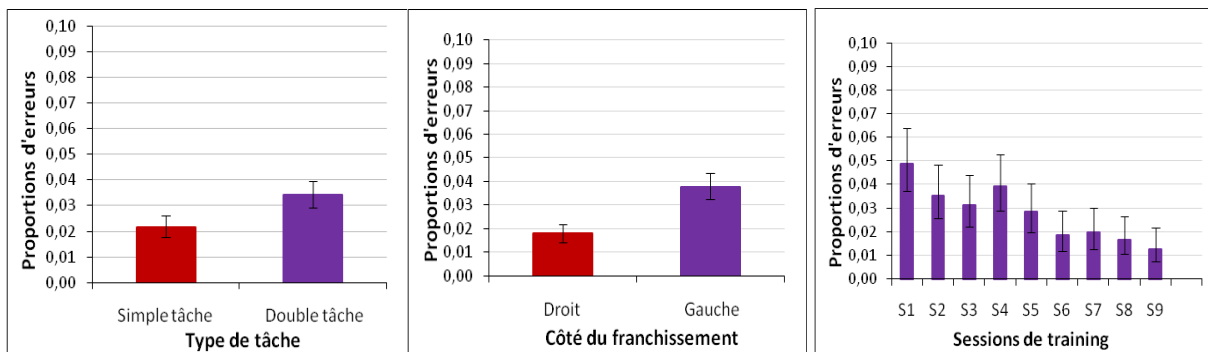


Figure 32. Effet principal du type de tâche, du côté du franchissement et de la session (Patient 2)

Après ces trois effets principaux, l'analyse du Q' a permis d'identifier plusieurs interactions. Tout d'abord une interaction entre le type de tâche et le côté de la ligne franchie ( $Q'(1)=8.45$  ;  $p<.004$ ) (Figure 33).

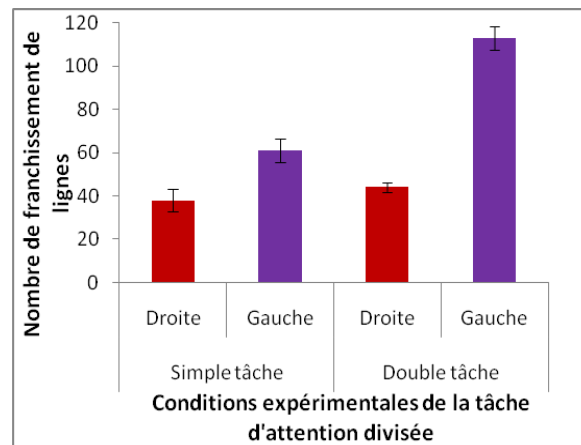


Figure 33. Interaction entre le type de tâche et la latéralité de la ligne franchie (Patient 2)

Les analyses post-hoc ont révélé un nombre de franchissements de lignes plus important à gauche, d'autant plus en condition de double tâche (tâche de calcul mental). La deuxième interaction concerne le côté de la ligne franchie et la variable session ( $Q'(8)=26.66$  ;  $p<.001$ ). Les analyses post-hoc montrent que le nombre d'erreurs diminue dès la deuxième session et devient statistiquement significatif à la session sept pour les lignes franchies à droite alors que pour le côté gauche c'est seulement la session quatre qui diffère de la dernière session de training. Autrement dit, en plus de faire plus de franchissement de lignes du côté gauche, la diminution de ses erreurs est plus tardive.

Enfin, on observe une double interaction entre la session, le côté de la ligne et le type de tâche ( $Q'(8)=22.36$  ;  $p<.004$ ). La situation pour laquelle le nombre d'erreurs est moindre concerne les franchissements de ligne à droite en situation de simple tâche lors de la septième session alors que la situation où il y a le plus d'erreurs concerne la première session en double tâche pour le côté gauche. En résumé, même si le test n'a pas révélé d'interaction entre les sessions et la condition de la tâche, la double interaction permet de conclure que le nombre d'erreurs est moindre en simple tâche.

Nous avons ensuite calculé la **dévi**ation standard de la position du véhicule en fonction du type de tâche (simple ou double) (Figure 34).

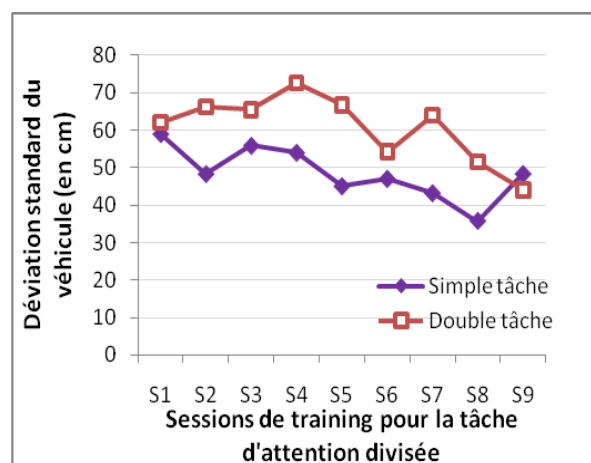


Figure 34. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 2)

Le type de tâche semble avoir un effet sur la déviation moyenne du véhicule. En effet, la déviation est plus importante en situation de double tâche ( $60.74 \pm 8.98$  cm) comparée à la situation de simple tâche ( $48.45 \pm 7.08$  cm) et ceci se vérifie dans huit sessions sur neuf

(excepté S9). De plus, on observe une légère diminution de la déviation du véhicule d'une séance de training à une autre, toute condition confondue (S1=60.55 cm ; S3=60.64 cm ; S6=50.59 cm ; S9=46.17 cm). Que ce soit en double tâche ou en simple tâche, le profil semble similaire, à savoir une diminution progressive en centimètre de la déviation du véhicule. Le coût dû à la double tâche ne s'améliorerait donc pas sur cette mesure.

Enfin, concernant la **vitesse kilométrique**, L'ANOVA à deux facteurs (sessions et type de tâche) a seulement révélé un effet principal de la session ( $F(8,17)=3.06$  ;  $p<.005$ ). Le test complémentaire de Bonferroni a montré une certaine stabilité de la vitesse kilométrique de la première à la sixième session, puis une diminution significative à la session sept et neuf (S1=97.64  $\pm$  7.07 km/h ; S7=87.25  $\pm$  2.16 km/h ; S9=89.06  $\pm$  2.83 km/h). Autrement dit, le patient 2 a tendance à rouler plus doucement lors des dernières sessions comparées à la première (Figure 35). La double tâche n'influe donc pas sur la vitesse kilométrique.

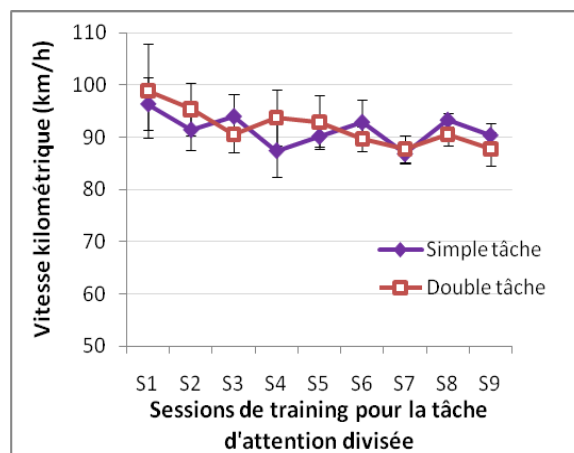


Figure 35. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 2)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations kilométriques au sein d'une session de training (Figure 36).

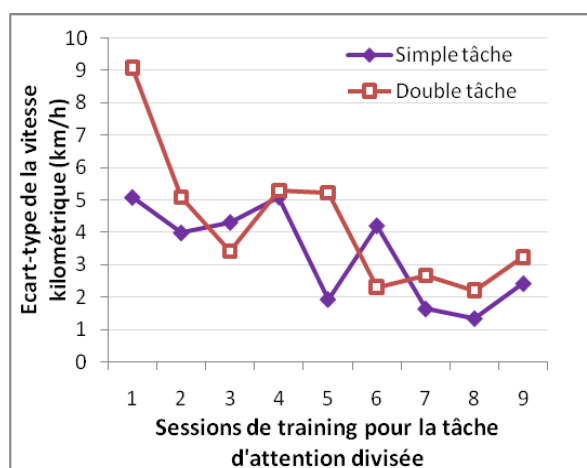


Figure 36. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition (Patient 2)

On s'aperçoit que le profil est semblable entre les deux conditions expérimentales. En effet, l'écart-type de la vitesse kilométrique diminue d'une session de training à une autre, que ce soit en simple tâche (S1=5.07 ; S3=4.30 ; S6=4.20 ; S9=2.42) ou en double tâche (S1=9.08 ; S3=3.43 ; S6=2.31 ; S9=3.23). Le patient 2 a donc stabilisé son allure kilométrique

au fur et à mesure des séances, quelle que soit la condition expérimentale. Le coût dû à la double tâche n'a donc pas d'impact sur la variabilité de la vitesse kilométrique.

e) Synthèse des résultats du patient 2

L'**alerte phasique** semble **préservée** chez le patient 2. En effet, dès la première session de training, il se sert de l'avertisseur visuel pour se préparer à l'action et réagir plus rapidement lors de la survenue de l'obstacle. De ce fait, la différence entre la condition avec avertisseur et la condition sans avertisseur reste stable durant tout le programme d'entraînement. On n'observe pas non plus d'amélioration de la vitesse de traitement (condition sans avertisseur) au cours du training, à l'exception d'une diminution des temps de réponse entre la première et la deuxième session, qui pourrait être liée à la nouveauté de la tâche. En revanche, le temps d'alerte (temps entre le stimulus avertisseur et l'obstacle) semble influencer les résultats du patient, qui est plus rapide pour éviter l'obstacle lorsque l'avertisseur est présenté 500 millisecondes avant celui-ci.

Dans la tâche de vigilance, le patient améliore sa vitesse de traitement de l'information (diminution progressive des temps de réponse), mais seulement à partir de la cinquième session. De plus, on observe une diminution de la variabilité intra-session au cours du programme de training (diminution de l'écart-type d'une séance à une autre). Le patient semble donc avoir **amélioré** ses capacités de **vigilance**.

Concernant la tâche **d'attention sélective**, on note une chute brutale du nombre d'erreurs entre la première et la deuxième session montrant un effet d'habituation à la tâche. Le nombre d'erreurs s'est ensuite stabilisé pour devenir très faible, mettant en évidence un « **effet plancher** ». En effet, l'absence d'amélioration serait due au fait que la tâche n'est pas assez complexe pour le patient. De ce fait, il ne peut pas s'améliorer davantage (une erreur en moyenne par session). Le patient n'aurait pas de difficulté à sélectionner l'information pertinente parmi les distracteurs.

Lors de la double tâche, la tâche additionnelle de calcul mental a un effet direct sur les performances du patient : les erreurs de franchissement de ligne sont plus nombreuses et la déviation du véhicule est bien plus importante comparés à la situation de simple tâche. Au cours du training on observe une amélioration générale du nombre d'erreur de franchissement (surtout pour la ligne de droite), une diminution générale de la déviation dans les deux conditions, et une diminution de la variabilité kilométrique (écart-type) quelle que soit la condition expérimentale. Ceci ne peut donc être attribué à une amélioration de l'attention divisée mais plutôt à une **amélioration générale** à cette tâche bien spécifique. En revanche, on note une diminution de l'écart-type de la vitesse kilométrique en situation de double tâche dès la deuxième session. Ainsi, la double tâche a un impact sur l'écart-type de la vitesse seulement lorsque la tâche est nouvelle, le patient régule ensuite sa vitesse aussi bien qu'en simple tâche.

### 1.3 Patient 3

La patiente 3 est une femme de 34 ans, victime d'un accident de voiture survenu en mars 2007. Elle a subi un traumatisme crânien grave (GCS=7) avec des lésions principalement situées dans l'hémisphère droit. Elle a effectué l'évaluation pré-training 37 mois après son traumatisme.

a) *Tâche d'alerte phasique*

La Figure 37 permet de comparer les temps de réponse moyens du patient 3 obtenus à la tâche d'alerte phasique dans deux conditions expérimentales : avec et sans avertisseur visuel.

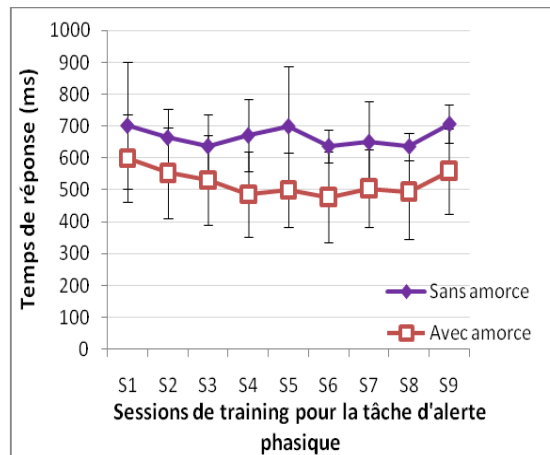


Figure 37. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 3)

Les résultats de l'ANOVA ont révélé un effet significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=96.74$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse sont plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $520.31 \pm 164.11$  ms) que dans la condition sans avertisseur visuel ( $666.73 \pm 120.85$  ms) toutes sessions confondues. En revanche il n'y a pas d'effet de la variable session sur les temps de réponse ni d'interaction entre ces deux facteurs. Ceci laisse supposer qu'il n'y a pas d'amélioration des performances durant l'intégralité du training et que le pattern d'évolution des temps de réponse est similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. Par conséquent, le patient 3 se sert du stimulus avertisseur aussi bien en première session qu'en dernière.

La Figure 38 présente les temps de réponse moyen à la tâche en fonction du temps d'alerte, toutes sessions confondues.

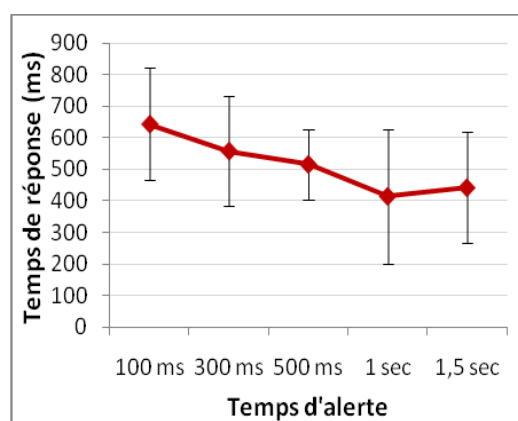


Figure 38. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'alerte phasique en fonction du temps d'alerte (Patient 3)

Les résultats de l'ANOVA ont montré un effet principal du temps d'alerte ( $F(4)=7.99$  ;  $p<.001$ ). Les analyses post-hoc ont révélé que les meilleurs temps de réponse du patient, toute session de training confondue, s'observent lorsque le temps d'alerte est d'une seconde ( $414.11 \pm 213.11$  ms). Ces TR diffèrent de manière significative avec les temps de réponse

obtenus lorsque le temps d'alerte était court (100ms :  $p < .001$  ; 300 ms :  $p = .033$ ). En effet, plus le temps d'alerte est court plus les TR du patient sont élevés (100 ms :  $643.33 \pm 177.33$  ms ; 300 ms :  $557.89 \pm 173.11$  ms).

Ce patient semble donc utiliser l'avertisseur visuel comme indice puisqu'il répond plus rapidement dans la condition avec avertisseur comparé à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez la patiente 3. De plus, le temps d'alerte impacterait ses temps de réponse et serait optimal à une seconde.

b) Tâche de vigilance

La Figure 39 présente les TR moyens et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session de la tâche de vigilance pour la patiente 3.

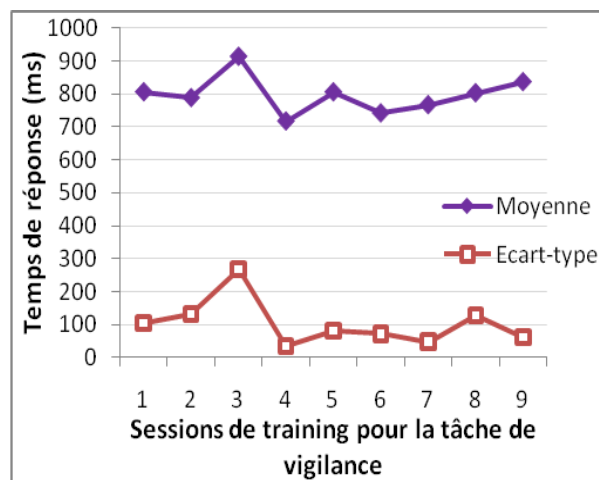


Figure 39. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patiente 3)

L'ANOVA à un facteur a révélé un effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,104)=2.52$  ;  $p=.016$ ). D'après les analyses complémentaires, cet effet s'explique par des TR en session trois qui sont plus élevés et différent des TR des autres sessions. Autrement dit, il ne s'agit pas d'une progression de la patiente 3 au cours du programme d'entraînement.

De plus, l'écart-type reste stable à travers toutes les sessions de training (excepté S3). Cependant, les écarts-types sont faibles dès la première session, ce qui laisse supposer que les TR de la patiente 3 varient peu au cours des dix minutes de tâche de vigilance. L'absence d'amélioration se justifierait donc par le fait que la patiente 3 n'a pas de difficulté à répondre aussi efficacement aux douze stimuli. Cette tâche de vigilance présenterait alors un « effet plancher ». La patiente n'éprouvant pas de difficulté particulière à la réaliser en début de programme, il ne pourrait s'améliorer d'avantage lors des sessions suivantes.

c) Tâche d'attention sélective

Le test  $Q' 2 \times k$  n'a montré aucune différence significative entre les séances ( $Q'(8)=6.57$  ;  $p=.580$ ). Si la proportion des erreurs reste stable d'une séance à l'autre, on s'aperçoit cependant, que la patiente 3 fait peu d'erreurs dès la première session (S1=2 erreurs) et ne dépasse jamais les trois erreurs (Figure 40). De ce fait, nous postulons à un « effet plancher ». Autrement dit, cette tâche ne semble pas assez sensible pour stimuler l'attention sélective chez ce patient.

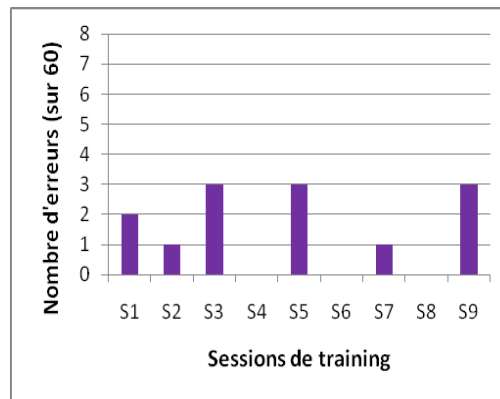


Figure 40. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 3)

d) *Tâche d'attention divisée*

Dans un premier temps, le test du  $Q' 2 \times 2 \times k$  a été utilisé pour analyser le **nombre de franchissements de ligne** ( $N=237$ ). Les résultats ont révélé un effet principal du type de tâche ( $Q'(1)=5.32$  ;  $p<.020$ ) (Figure 41). Le nombre de franchissements de ligne était plus important en double tâche ( $140 \pm 8.67$ ) comparé à la simple tâche ( $97 \pm 7.14$ ), toutes sessions confondues. L'ajout d'une tâche complémentaire a donc eu pour effet d'augmenter le nombre d'erreurs à la tâche principale de conduite chez la patiente 3. Le test a ensuite indiqué un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=67.9$  ;  $p<.0001$ ). La patiente a franchi plus de lignes à droite ( $195 \pm 8.49$ ) que de lignes à gauche ( $42 \pm 2.25$ ) toutes conditions confondues (tâche et session). Enfin, l'effet principal de la session s'est avéré significatif ( $Q'(8)=52.19$  ;  $p<.0001$ ). Après analyses complémentaires, il s'est avéré que cet effet soit en partie dû à la chute du nombre d'erreurs dès la deuxième session de training. Les tests mettent en évidence une différence significative entre la première session ( $S1=58$ ) et la deuxième ( $S2=20$  ;  $p<.003$ ), la sixième ( $S6=9$  ;  $p<.001$ ), la huitième ( $S8=12$  ;  $p<.001$ ) et la dernière ( $S9=17$  ;  $p<.001$ ). Ainsi, il ne s'agit pas d'une diminution progressive du nombre de franchissements de ligne.

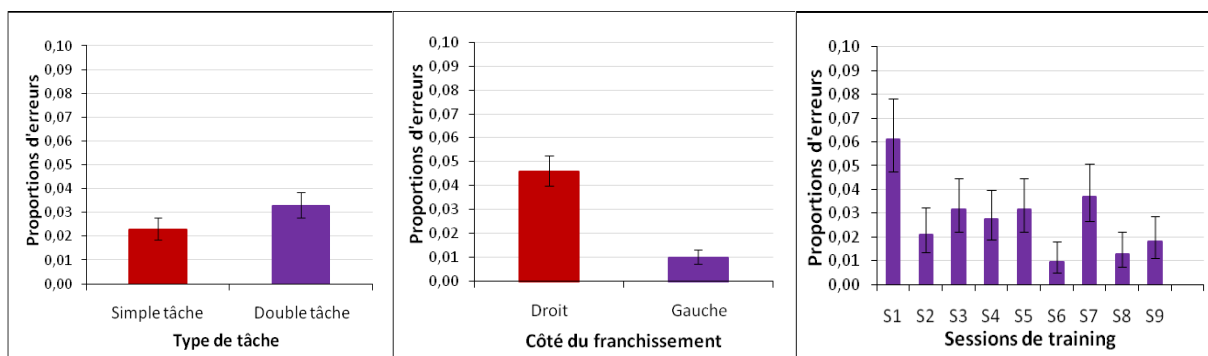


Figure 41. Effet principal du type de tâche, du côté du franchissement et de la session (Patient 3)

L'analyse du  $Q'$  a également révélé plusieurs interactions. Tout d'abord une interaction entre le type de tâche et le côté de la ligne franchie ( $Q'(1)=19.52$  ;  $p<.001$ ) (Figure 42).

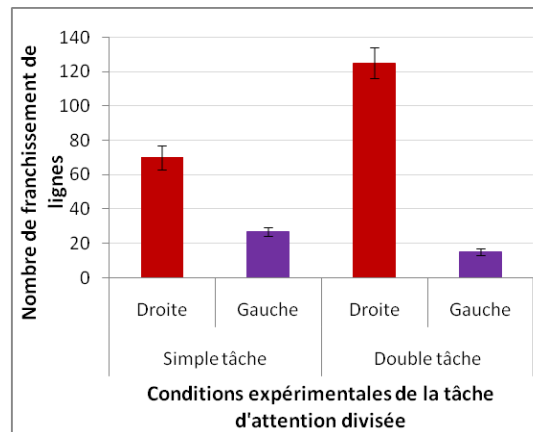


Figure 42. Interaction entre le type de tâche et la latéralité de la ligne franchie (Patient 3)

La patiente 3 a franchi un nombre plus important de lignes à droite que de lignes à gauche dans les deux types de tâches (simple :  $p < .001$  ; double :  $p < .001$ ), mais cet écart s'accroît largement lors de la double tâche.

Enfin, le test du Q' a révélé une double interaction entre la session, le côté de la ligne et le type de tâche ( $Q'(8) = 36.19$  ;  $p < .0001$ ). La situation pour laquelle le nombre d'erreurs est le plus élevé concerne les franchissements de ligne à droite en situation de double tâche lors de la première session (N=29) alors que la situation où la patiente fait le moins d'erreurs est en condition de simple tâche du côté gauche également lors de la première session (N=1). Ceci signifie que la patiente 3 n'a pas de difficulté à éviter les franchissements de ligne à gauche lorsqu'il est en simple tâche et ceci dès la première séance de training. En revanche, il fait plus d'erreurs de franchissement de ligne à droite, d'autant plus lorsqu'il est en situation de double tâche. Autrement dit, la double tâche impacterait seulement les erreurs de franchissement de ligne à droite.

La **déviat**ion standard de la position du véhicule a ensuite été calculée en fonction du type de tâche (simple ou double) (Figure 43).

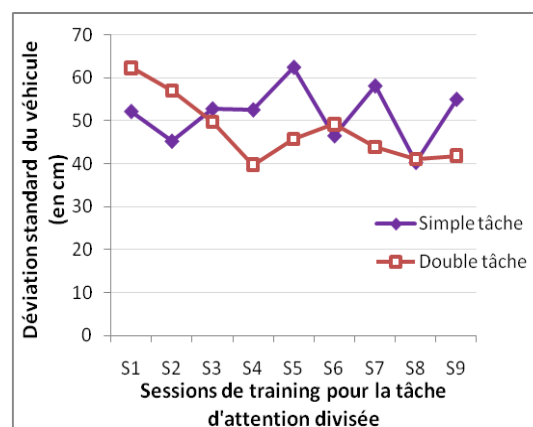


Figure 43. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 3)

Le type de tâche semble avoir un effet sur la déviation moyenne du véhicule. En effet, durant les deux premières sessions de training, la déviation est plus importante en situation de double tâche comparée à la situation de simple tâche. Cependant, la tendance s'inverse par la suite, la patiente semble diminuer la déviation de son véhicule d'une séance à une autre mais seulement en situation de double tâche (S1=62.29 cm ; S3=49.68 cm ; S6=49.16 cm ; S9=41.83 cm). En condition de simple tâche, la déviation est très fluctuante et on ne note pas



de réelle amélioration au cours du programme d'entraînement (S1=52.15 cm ; S3=52.78 cm ; S6=46.51 cm ; S9=54.99 cm). Le profil semble donc dissimilaire en fonction du type de tâche, à savoir une diminution progressive en centimètre de la déviation du véhicule en double tâche et une fluctuation en simple tâche. Par conséquent, le coût de la double tâche sur la déviation réduit au cours du programme d'entraînement.

Enfin, concernant la **vitesse kilométrique**, l'ANOVA a seulement révélé un effet principal de la session ( $F(8,17)=2.87$  ;  $p<.008$ ). Les tests complémentaires de Bonferroni ont mis en avant une fluctuation de la vitesse kilométrique entre les sessions de training aussi bien en simple tâche qu'en double tâche (Figure 44). La patiente 3 augmente progressivement sa vitesse kilométrique de la session trois ( $57.65 \pm 3.7$  km/h) à la session sept ( $70.3 \pm 3.84$  km/h). Cependant, il n'y a pas d'effet principal du type de tâche, ni d'interaction entre les deux facteurs. Ceci laisse supposer que le profil kilométrique n'est pas influencé par l'ajout d'une tâche complémentaire.

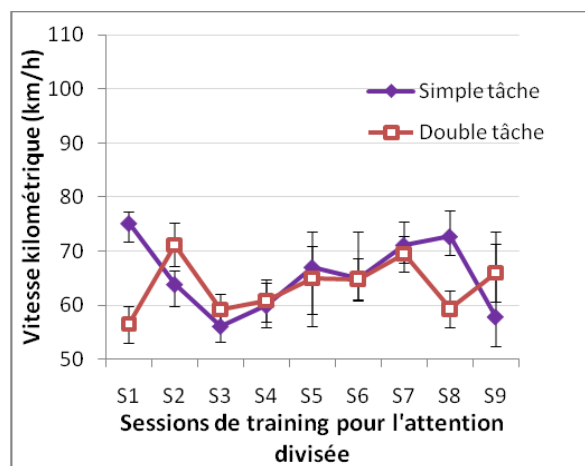


Figure 44. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 3)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations kilométrique au sein d'une session de training (Figure 45).

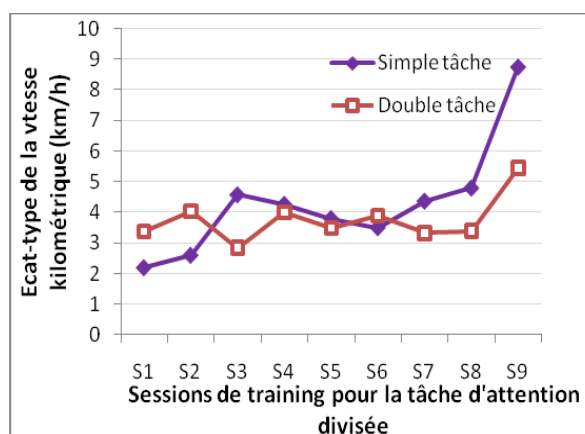


Figure 45. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 3)

On s'aperçoit que le profil est à peu près similaire entre les deux conditions expérimentales. La double tâche n'aurait donc pas d'effet sur la variabilité de la vitesse kilométrique chez la patiente 3.

e) Synthèse des résultats du patient 3

**L'alerte phasique** semble **préservée** chez la patiente 3. En effet, il obtient des temps de réponse bien plus bas lors de la condition avec avertisseur laissant supposer qu'il se sert de ce stimulus pour se préparer à réagir. De plus, l'effet serait optimal avec un temps d'alerte d'une seconde. En revanche, on ne note pas d'amélioration de la vitesse de traitement de l'information (condition sans avertisseur), ni d'amélioration de l'alerte phasique (condition avec avertisseur).

Les temps de réponse à la tâche de vigilance permettent d'aboutir à la même interprétation, à savoir aucune amélioration de la vitesse de traitement de l'information (temps de réponse constant d'une séance à l'autre). De plus, la variabilité des temps de réponse durant les dix minutes de la tâche ne s'améliore pas non plus au cours du programme de training. Ceci peut s'expliquer par le fait que cette variabilité est déjà faible lors de la première session et donc difficilement perfectible. Ainsi, la **vigilance** serait **préservée** chez ce patient qui n'éprouve pas de difficulté particulière à rester concentré durant une longue tâche.

**L'attention sélective** serait elle aussi **préservée**, en effet, la patiente ne fait en moyenne que deux erreurs par session et de ce fait ne s'améliore pas d'une session à l'autre. Il est probable que ce soit un « effet plancher », la tâche n'étant pas assez complexe pour ce patient.

Durant la tâche d'attention divisée, la double tâche a un impact sur les performances du patient : il fait plus d'erreurs de franchissement et la déviation du véhicule est plus importante (lors des premières sessions). En revanche, on ne note aucun effet sur la mesure de la vitesse kilométrique moyenne, ni sur l'écart-type de la vitesse. Concernant l'amélioration au cours des séances, elle s'opère en termes de diminution générale du nombre d'erreur (mais seulement de la première à la deuxième session) et une diminution de la déviation en double tâche permettant d'atteindre les performances obtenues en simple tâche à partir de la troisième session de training. **L'amélioration de l'attention divisée** serait donc **partielle** et se reflèterait seulement dans une mesure (la déviation standard du véhicule).

## 1.4 Patient 4

Le patient 4 est un homme de 39 ans, victime d'un accident de moto survenu en avril 2004. Il a subi un traumatisme crânien grave (score Glasgow non spécifié) avec des lésions principalement fronto-pariétales bilatérales. Il a effectué l'évaluation pré-training 72 mois après son traumatisme.

a) *Tâche d'alerte phasique*

La Figure 46 illustre les temps de réponse moyens obtenus à la tâche d'alerte phasique avec avertisseur et sans avertisseur visuel.

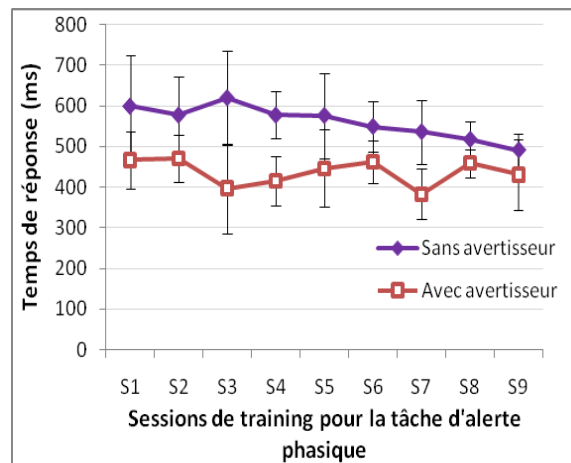


Figure 46. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 4)

Les résultats de l'ANOVA ont souligné un effet significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=261.49$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse sont plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $436.75 \pm 77.69$  ms) comparé à la condition sans avertisseur visuel ( $560.22 \pm 92.56$  ms), toutes sessions confondues. Ensuite, on note un effet de la variable session sur les temps de réponse ( $F(8,17)=4.92$  ;  $p<.001$ ). L'analyse post-hoc montre que les TR de la dernière session ( $461 \pm 63.5$  ms) diminuent significativement par rapport aux TR de la première ( $533 \pm 98$  ms ;  $p<.001$ ) et de la deuxième session de training ( $524 \pm 75.5$  ms ;  $p<.006$ ), quelle que soit la condition expérimentale. Il ne s'agit pas d'une chute des temps de réponse car on n'observe pas de différence d'une session de training à une autre. Seul l'écart entre les premières sessions et la dernière est significatif, laissant supposer une diminution progressive des TR au cours du programme d'entraînement. En revanche, il n'y a pas d'interaction entre ces deux facteurs. Par conséquent, le pattern d'amélioration progressive des performances durant l'intégralité du training est statistiquement similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. La patiente 1 se sert autant du stimulus avertisseur lors de S1 que de S9 mais diminue sa vitesse de traitement de l'information.

L'ANOVA à un facteur n'a montré aucun effet du facteur temps d'alerte sur les temps de réponse à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,44)=1.24$  ;  $p=.309$ ). Ainsi le changement du temps d'alerte (court ou long) n'a pas d'influence sur les performances du patient 4.

Ce patient semble utiliser l'avertisseur visuel à bon escient puisqu'il freine plus rapidement lors de l'obstacle dans la condition avec avertisseur, comparée à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez le patient 4. En revanche, le temps d'alerte n'impacterait pas ses temps de réponse et ne permettrait pas d'observer un temps de réponse optimal.

#### b) Tâche de vigilance

La Figure 47 présente les TR moyens et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session, chez le patient 4.

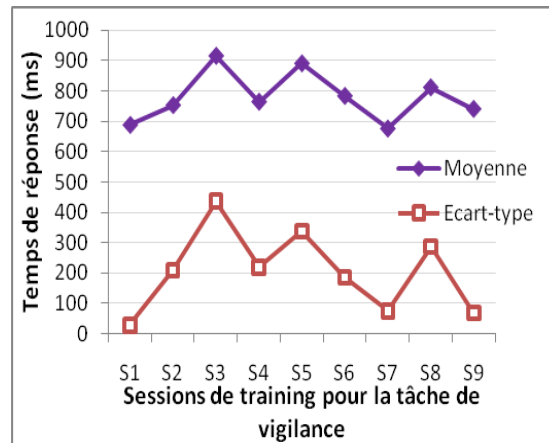


Figure 47. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patient 4)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,105)=1.33$  ;  $p=.237$ ). Autrement dit, le patient 4 n'a pas amélioré sa vitesse de traitement au cours du programme d'entraînement. De plus, on observe une fluctuation de l'écart-type d'une session de training à l'autre. Il semblerait donc que le patient n'améliore pas non plus la variabilité de ses temps de réponse.

c) *Tâche d'attention sélective*

Les analyses n'ont montré aucune différence significative entre les séances à la tâche d'attention sélective ( $Q'(8)=6.27$  ;  $p=.620$ ). Cependant, dès le début du programme d'entraînement, le nombre d'erreurs commises par le patient 4 est faible (Figure 48).

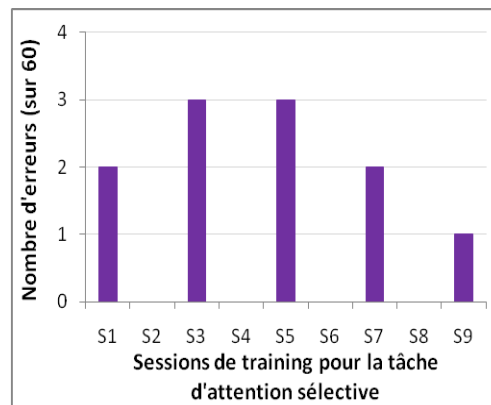


Figure 48. *Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective* (Patient 4)

L'évolution du nombre d'erreurs est fluctuante : une session sur deux le patient ne commet aucune erreur, laissant suggérer un « effet plancher ».

d) *Tâche d'attention divisée*

Le **nombre de franchissements de ligne** total était seulement de 26 pour le patient 4. Le test Q' a révélé un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=12.33$  ;  $p<.001$ ). Le patient a franchi plus de lignes à droite ( $24 \pm 1$ ) que de lignes à gauche ( $2 \pm 0.67$ ), toutes conditions confondues (type de tâche et session) (Figure 49).

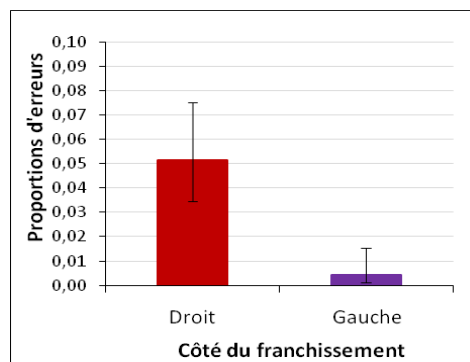


Figure 49. Effet principal du côté du franchissement de ligne (Patient 4)

En revanche, l'effet principal de la session ne s'est pas avéré significatif. Le nombre d'erreurs étant déjà faible lors de la première session (4 erreurs), le patient 4 ne s'est pas amélioré au cours des autres sessions de training. De plus, il n'y avait pas d'effet principal du type de tâche. Le patient a franchi autant de lignes en situation de simple tâche ( $13 \pm 0.88$ ) qu'en situation de double tâche ( $13 \pm 0.88$ ). Enfin, aucune interaction n'a été mise en évidence. Par conséquent, il semblerait que l'ajout d'une tâche complémentaire n'ait pas perturbé les performances de ce patient à la tâche de conduite.

La Figure 50 illustre la **déviati on standard de la position du véhicule** en fonction du type de tâche (simple ou double).

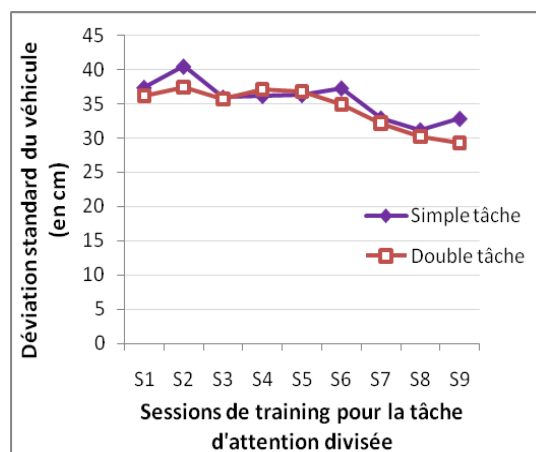


Figure 50. Évolution de la déviati on standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 4)

A la lumière des différents résultats, là encore simplement descriptifs, le type de tâche ne semble pas avoir d'effet sur la déviati on moyenne du véhicule. En effet, la déviati on de la voiture toute session confondue en situation de double tâche ( $34.42 \pm 3.08$  cm) ne diffère guère de la déviati on en situation de simple tâche ( $35.62 \pm 2.85$  cm). Cependant, on observe une légère diminution de la déviati on du véhicule à partir de la sixième session ( $S6=36.10$  cm) jusqu'à la dernière ( $S9=31.05$  cm), toutes conditions confondues. Que ce soit en double tâche ou en simple tâche le profil semble similaire, à savoir une certaine stabilité du véhicule avec une légère amélioration lors des trois dernières séances de training.

Concernant la **vitesse kilométrique**, l'ANOVA a révélé un effet du type de tâche ( $F(1,17)=36.74$  ;  $p<.001$ ). Le patient 4 roulait plus vite en situation de double tâche ( $87.35 \pm 5.62$  km/h) qu'en situation de simple tâche ( $84.04 \pm 2.7$  km/h). La différence entre les deux conditions est faible mais perpétuelle au fil des sessions (dans huit sessions sur neuf), ce qui la rend statistiquement significative. Le test a ensuite mis en évidence un effet principal de la

session ( $F(8,17)=18.14$  ;  $p<.001$ ), qui s'expliquerait par le fait que la vitesse kilométrique du patient en première session était plus élevée que durant toutes les autres sessions de training. Ainsi, cet effet ne révèle pas une progression de l'allure kilométrique au cours du programme, mais plutôt une meilleure prise en main du véhicule à partir de la deuxième session.

Enfin, les résultats ont mis en évidence une interaction entre la session et le type de tâche ( $F(8,17)=4.9$  ;  $p<.001$ ). L'effet principal de la session (diminution de la vitesse entre S1 et les autres sessions) serait plus marqué en situation de double tâche (Figure 51). Autrement dit, l'adaptation du patient au simulateur (appréciation de la vitesse sur simulateur de conduite) semble plus difficile en situation de double tâche.

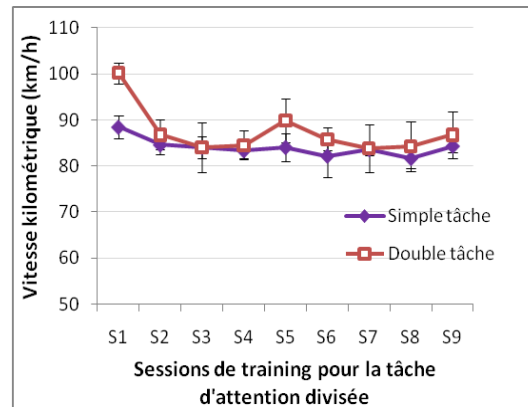


Figure 51. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 4)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations kilométriques au sein d'une session de training (Figure 52).

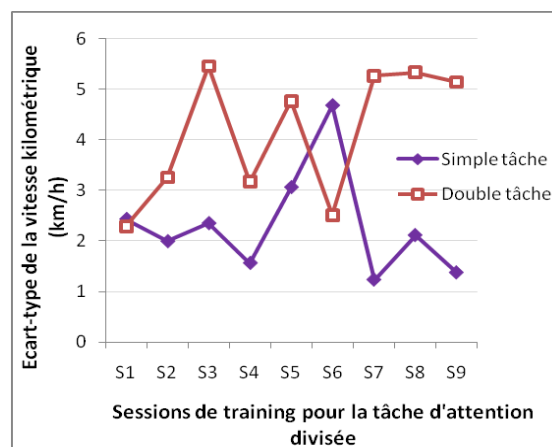


Figure 52. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 4)

On s'aperçoit que le profil diffère selon la condition expérimentale. En effet, l'écart-type de la vitesse kilométrique est plus élevé en situation de double tâche (ET moyen=4.13) qu'en situation de simple tâche (ET moyen=2.31), toutes sessions confondues ; et ceci se retrouve dans sept sessions sur neuf. En résumé, la double tâche semble avoir un coût sur la variabilité de la vitesse kilométrique.

## e) Synthèse des résultats du patient 4

L'**alerte phasique** semble **préservée** chez ce patient étant donné qu'il réagit plus rapidement lors de la condition avec avertisseur comparée à la condition sans avertisseur. On observe une légère amélioration qui devient significative en dernière session, toutes conditions confondues, présageant une petite amélioration de la vitesse de traitement de l'information.

Concernant la tâche de **vigilance**, il n'y a **pas d'amélioration** de la vitesse de traitement de l'information (mesurée par les temps de réponse), ni de la capacité à maintenir sa vigilance (mesurée par l'écart-type). Les performances du patient fluctuent constamment dans ces deux mesures.

Cette **fluctuation** se retrouve aussi dans la tâche **d'attention sélective** où le patient passe de trois erreurs à aucune erreur, une session sur deux. Autrement dit, il s'améliore mais cela ne tient pas dans le temps. Ceci dit, le nombre d'erreurs est faible puisqu'il ne dépasse jamais le chiffre de trois.

La double tâche a eu un impact limité à quelques mesures chez le patient 4. En effet, le nombre de franchissements de ligne et la déviation standard du véhicule ne différaient pas de la simple tâche à la double tâche. En revanche, il roulait plus vite lorsqu'il effectuait les deux tâches simultanément et la variabilité de la vitesse (écart-type) était également plus haute qu'en simple tâche. On observe une diminution de la déviation du véhicule dans les deux conditions expérimentales. Cette amélioration est attribuable à une meilleure maîtrise de la conduite sur simulateur et non à une amélioration des capacités d'attention divisée. Enfin, il a diminué la variabilité de sa vitesse, mais seulement en simple tâche. Ceci suggère que l'impact de la double tâche était toujours aussi important lors des dernières sessions de training ne permettant pas d'obtenir cette même amélioration. **L'attention divisée** n'a donc montré **aucune amélioration** sur les mesures impactées.

## 1.5 Patient 5

Le patient 5 est un homme de 39 ans, victime d'un accident de poids lourd survenu en novembre 2009. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=non spécifié) et a effectué l'évaluation pré-training 6 mois après son traumatisme.

## a) Tâche d'alerte phasique

Les temps de réponse moyens obtenus à la tâche d'alerte phasique sont illustrés dans la Figure 53 en fonction de la condition (avec ou sans avertisseur visuel).

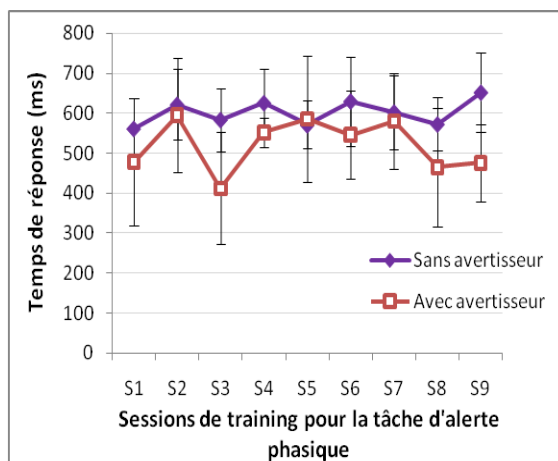


Figure 53. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 5)

Les résultats ont exhibé un effet principal de la condition expérimentale ( $F(1,17)=57.98$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse sont plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $527.6 \pm 137.96$  ms) comparée à la condition sans avertisseur visuel ( $602.25 \pm 88.99$  ms) toutes sessions confondues. En revanche il n'y a pas d'effet de la variable session sur les temps de réponse ni d'interaction entre ces deux facteurs. Ceci laisse supposer qu'il n'y a pas d'amélioration des performances durant l'intégralité du training et que le pattern d'évolution des temps de réponse est relativement similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. En définitive, le patient 5 n'améliore pas sa capacité d'alerte puisqu'il se sert du stimulus avertisseur dès S1, supposant une préservation de l'alerte.

De plus, l'ANOVA n'a montré aucun effet du facteur temps d'alerte sur les temps de réponse à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,44)=0.849$  ;  $p=.503$ ). Ainsi, le changement du temps d'alerte (court ou long) n'a pas eu d'influence sur les performances du patient 5.

Ce patient semble donc utiliser l'avertisseur visuel comme indice puisqu'il répond plus rapidement dans la condition avec avertisseur comparé à la condition sans avertisseur et ceci dans huit sessions sur neuf. L'alerte phasique serait alors préservée chez le patient 5. En revanche, un temps d'alerte variable ne permet pas d'aboutir à un temps de réponse optimal.

#### b) Tâche de vigilance

La Figure 54 présente les TR moyens et l'écart-type à la tâche de vigilance pour les neuf sessions de training.

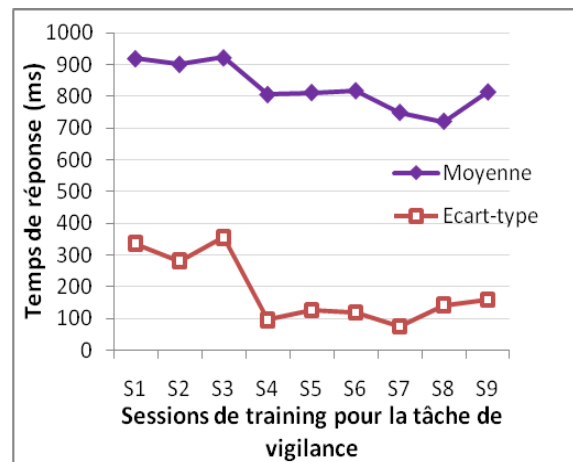


Figure 54. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patient 5)

Les résultats n'ont montré aucun effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,103)=1.362$  ;  $p=.223$ ). Le patient 5 n'a pas amélioré ses TR au cours du programme d'entraînement. Cependant, lorsqu'on observe la Figure 54, on s'aperçoit que l'écart-type chute de la troisième à la quatrième séance ( $S3=355.78$  ;  $S4=95.82$ ) pour ensuite rester constant jusqu'à la dernière session de training. Ainsi, il semblerait que le patient 5 n'améliore pas significativement sa vitesse de traitement de l'information, mais améliore par contre la variabilité intra-session de ses temps de réponse.



c) *Tâche d'attention sélective*

Le test  $Q' 2 \times k$  n'a montré aucune différence significative entre les séances ( $Q'(8)=7.41$  ;  $p=.490$ ) à la tâche d'attention sélective. Au regard de la Figure 55, on peut cependant noter une diminution du nombre d'erreurs entre S1 (N=9) et S2 (N=2), attribuable à l'effet de nouveauté représenté par la tâche. Le profil général fluctue au cours du training.

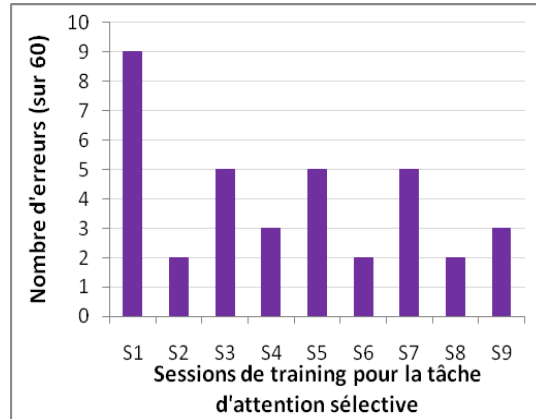


Figure 55. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 5)

d) *Tâche d'attention divisée*

Le test du  $Q' 2 \times 2 \times k$  n'a révélé aucune différence significative concernant le **nombre de franchissements de ligne** (N=36). Autrement dit, l'ajout d'une tâche secondaire à la tâche de conduite n'a pas eu d'impact sur les performances du patient à cette mesure spécifique. De plus, on ne note pas d'amélioration au gré des séances. Cependant, le nombre de franchissements de ligne est déjà faible au commencement du programme de training.

La deuxième mesure concerne la **déviatoin standard de la position du véhicule**, illustrée par la Figure 56 en fonction du type de tâche (simple ou double).

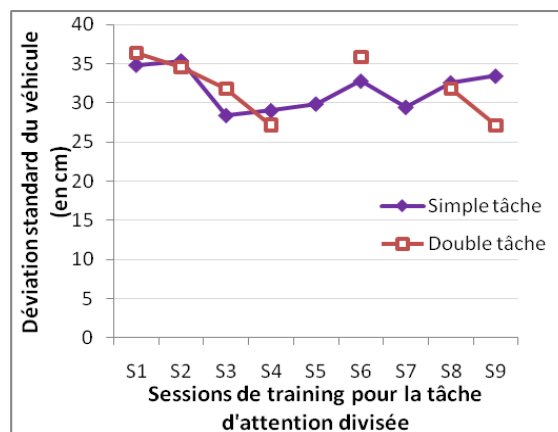


Figure 56. Évolution de la déviatoin standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 5)

Certaines données étaient manquantes pour le patient 5 (fichier illisible pour S5 et S7 en double tâche), ne permettant pas de décrire l'évolution de la déviatoin standard avec précision. Ainsi, nous nous contenterons de statuer sur le fait que l'ajout d'une tâche additionnelle ne semble pas impacter la déviatoin du véhicule chez ce patient (au vu du profil général). De plus, le profil d'évolution au gré des séances semble similaire en situation de

simple et double tâche, à savoir une certaine stabilité de la déviation du véhicule au cours du programme de training.

Enfin, concernant la **vitesse kilométrique**, l'ANOVA a mis en avant un effet principal de la session ( $F(8,15)=3.51$  ;  $p<.002$ ). Cet effet ne concerne pas une diminution progressive de la vitesse au fur et à mesure des séances mais une diminution brutale en S2 qui se stabilise ensuite jusqu'à la dernière session. En effet, le patient roulait bien plus rapidement en première session ( $S1=99.85 \pm 6.99$  km/h) comparée à toutes les autres sessions de training (comme par exemple  $S2=90.21 \pm 7.66$  km/h).

En revanche, il n'y a pas eu d'effet principal du type de tâche. L'allure kilométrique adoptée par le patient était similaire en simple ( $92.89 \pm 5.34$  km/h) et double tâche ( $89.54 \pm 5.11$  km/h), toutes sessions confondues.

Enfin, l'analyse a mis en évidence une interaction entre les facteurs session et type de tâche ( $F(6,80)=2.73$  ;  $p<.020$ ). Le patient roulait à une allure semblable en simple et double tâche, cependant, la diminution de la vitesse kilométrique entre S1 et S2 ne s'exprime qu'en situation de double tâche ( $F(6, 34)=5.16$  ;  $p<.001$ ). Ces résultats laissent supposer que l'ajout d'une tâche secondaire à la tâche de conduite a eu un impact limité sur la vitesse kilométrique à la première session. Le patient a ensuite su réguler sa vitesse en double tâche (Figure 57).

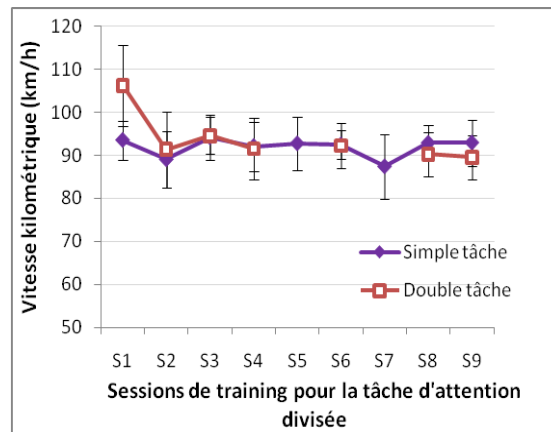


Figure 57. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 5)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale afin d'observer les variations kilométriques au sein des différentes sessions de training (Figure 58).

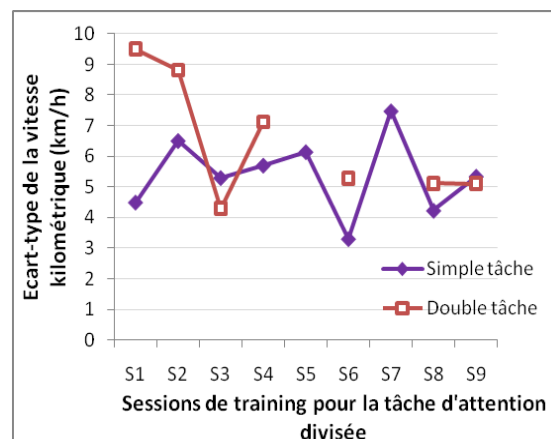


Figure 58. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 5)

On s'aperçoit que le profil diffère entre les deux conditions expérimentales. En effet, l'écart-type de la vitesse kilométrique en double tâche est bien plus élevé lors des deux premières sessions de training ( $S1=9.5$  ;  $S2=8.81$ ) que l'écart-type observé en simple tâche ( $S1=4.5$  ;  $S2=6.51$ ). Cette différence s'atténue ensuite à partir de la session trois jusqu'à la dernière. Il semblerait que la double tâche ait un impact sur la variabilité de la vitesse kilométrique du patient 5, mais seulement au début du programme de training. Ainsi, il a amélioré ses performances en double tâche en termes de diminution de la variabilité de son allure kilométrique.

#### e) Synthèse des résultats du patient 5

**L'alerte phasique** semble **préservée** chez ce patient. Tout comme les autres patients, le patient 5 réagit plus rapidement face à la survenue de l'obstacle lorsqu'il est prévenu au préalable par un avertisseur visuel. Cependant, aucune amélioration n'apparaît au cours du training (du fait de la préservation de cette composante attentionnelle).

Lors de la tâche de vigilance on observe une légère diminution des temps de réponse, mais non significative. De plus, l'écart-type des temps de réponse diminue grandement de la session trois à quatre et cette amélioration reste constante jusqu'à la dernière session de training. Autrement dit, le patient 5 aurait amélioré ses capacités à maintenir son attention durant les dix minutes de la tâche, laissant supposer une **meilleure vigilance**.

En revanche on ne note **aucune amélioration** lors de la tâche **d'attention sélective**. Le patient fait beaucoup plus d'erreurs lors de la première session comparée aux autres sessions et ceci peut s'interpréter comme un effet dû à la nouveauté de la tâche. Les sessions de training qui ont suivies ont entraîné une fluctuation des performances.

Lors de la tâche d'attention divisée, l'ajout de la tâche de calcul mental à la tâche de conduite n'a pratiquement pas eu d'impact sur les performances du patient 5. Le nombre d'erreur de franchissement, la déviation standard, ainsi que la vitesse kilométrique étaient similaires dans les deux conditions (simple et double tâche). Il n'y a pas eu d'amélioration du nombre de franchissement au cours du programme, mais ceci peut s'expliquer par le fait qu'il était déjà très faible lors de la première session. La seule mesure qui a révélé une différence en fonction du type de tâche est l'écart-type de la vitesse kilométrique. En effet, il était bien plus important en condition de double tâche qu'en condition de simple tâche. Cependant, le patient 5 s'est amélioré et a diminué la variabilité de sa vitesse en double tâche pour atteindre celle adoptée en simple tâche (à partir de la sixième session de training). En résumé, ce patient avait très peu de difficulté à effectuer deux tâches simultanément et s'est amélioré sur la seule mesure qui était impactée par la double tâche. **L'attention divisée** semble alors **préservée en quasi-totalité** et peut s'**améliorer** au cours d'un programme d'entraînement.

## 1.6 Synthèse des résultats du groupe simulateur

Les cinq patients traumatisés crâniens ont obtenu des résultats qui diffèrent en fonction des tâches attentionnelles proposées ou des mesures enregistrées. Le Tableau 32 synthétise l'évolution et l'amélioration des performances des patients au cours du programme d'entraînement attentionnel sur simulateur de conduite.

Tableau 32. Évolution des performances attentionnelles des cinq patients au cours du training sur simulateur de conduite

	<i>Alerte Phasique</i>	<i>Vigilance</i>	<i>Attention sélective</i>	<i>Attention divisée</i>
<b>Patient 1</b>	-Préservée	-Diminution de l'ET	-Pas d'amélioration	-Mesures impactées par la double tâche : plus d'erreurs et roule plus vite -Diminution du nombre d'erreurs en double tâche -Diminution générale de la déviation
<b>Patient 2</b>	-Préservée -Maximum à 500ms	-Diminution des TR à partir de S5 -Diminution de l'ET	-Effet plancher	-Mesures impactées : plus d'erreurs, roule plus vite et la déviation est plus grande -Diminution des trois mesures dans les deux conditions
<b>Patient 3</b>	-Préservée -Maximum à 1sec	-Préservée	-Préservée	-Mesures impactées : plus d'erreurs et la déviation est plus grande -Diminution de la déviation en double tâche
<b>Patient 4</b>	-Préservée -Diminution des TR	-Pas d'amélioration	-Fluctuation du nombre d'erreurs	-Mesures impactées : roule plus vite et l'ET de la vitesse est plus grand -Diminution de l'ET en simple -Diminution de la déviation dans les deux conditions
<b>Patient 5</b>	-Préservée	-Diminution de l'ET à partir de S3	-Fluctuation du nombre d'erreurs	-Mesures impactées : l'ET de la vitesse est plus grand -Diminution de l'ET en double tâche à partir de S6

**Alerte Phasique :** Les cinq patients se servent du signal avertisseur dès le début du training, laissant supposer une préservation de cette composante attentionnelle pour tout le groupe de patients entraînés sur simulateur de conduite. Une analyse supplémentaire a été effectuée à partir d'un index d'alerte (Figure 59). Cet index a été calculé en soustrayant les TR de la condition sans avertisseur au TR de la condition avec avertisseur. L'effet de la session sur cet index peut s'analyser seulement à partir d'un groupe, ainsi, l'analyse qui suit reprend les résultats de l'analyse de groupe effectuée au préalable (annexe 21). L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé de différence significative au cours des 9 sessions de training sur l'index d'alerte phasique ( $F(8,44)=0.118$  ;  $p=.998$ ). Le bénéfice du signal avertisseur sur les TR est donc constant d'une session à l'autre pour le groupe simulateur. De ce fait, aucune amélioration n'a été observée au cours du programme d'entraînement.

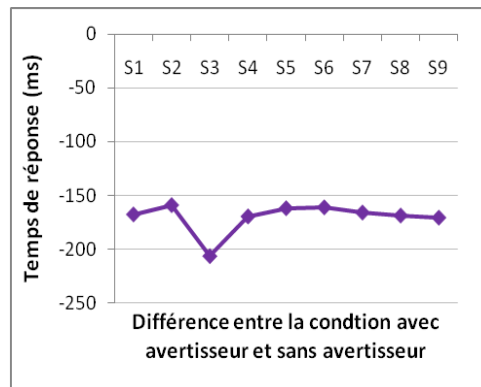


Figure 59. Évolution de l'alerte phasique pour le groupe simulateur

De plus, les analyses individuelles ont permis de mettre en évidence une diminution des temps de réponse pour le patient 4 qui diminue ses temps de réponse dans les deux conditions expérimentales, suggérant plutôt une amélioration de la vitesse de traitement de l'information.

**Vigilance :** La vigilance semble s'améliorer pour trois patients sur cinq étant donné que la variabilité de leur temps de réponse a diminué d'une session à une autre. Un patient ne s'est pas amélioré mais avait déjà une faible variabilité dès S1. L'autre patient (Patient 4) n'a quant à lui pas progressé.

**Attention sélective :** Les performances en termes d'erreurs dans la tâche d'attention sélective ne s'améliorent pas au cours du programme d'entraînement. Pour certains, le nombre d'erreurs fluctue d'une session à l'autre, pour d'autres le nombre d'erreurs est restreint dès le début de l'entraînement, ne permettant pas d'observer d'amélioration. Les autres patients seraient confrontés à un manque de complexité de la tâche (bon niveau dès S1), ne permettant pas d'observer de progression (effet plancher). L'analyse de groupe réalisée au préalable (cf. annexe 21) avait révélé un effet principal de la session, montrant une fluctuation générale du groupe de patients. Or, les analyses individuelles ont montré que cette fluctuation des performances s'observe seulement pour deux patients sur cinq. L'analyse de groupe ne rendrait donc pas compte des différences de profil entre les patients.

**Attention divisée :** Enfin, on note une amélioration de l'attention divisée pour pratiquement tous les patients traumatisés crâniens, s'objectivant par une diminution de la déviation standard du véhicule en double tâche, une diminution du nombre d'erreurs en double tâche (franchissements de lignes), ou encore par une diminution de la vitesse kilométrique en double tâche ou de la variabilité de la vitesse (écart-type). Cependant, deux patients ont amélioré leur performance générale à la tâche d'attention divisée, dans les deux conditions expérimentales. En effet, Le patient 2 s'est amélioré dans trois mesures de la tâche aussi bien en simple qu'en double tâche et le patient 4 a diminué la déviation de son véhicule d'une session à une autre en simple et double tâche. On peut alors supposer que ces deux patients n'ont pas forcément amélioré leur capacité à divisée leur attention, mais sont devenus plus performants à cette tâche spécifique de contrôle de la position du véhicule.

## 2. Training sur ordinateur

Les résultats qui traitent du training attentionnel réalisé sur ordinateur sont à considérer avec précaution étant donné qu'aucune analyse statistique ne les sous-tend. Cependant, ils apportent une valeur descriptive de l'évolution des performances au cours du programme d'entraînement.

Nous nous sommes intéressés aux temps de réponse et à la progression des niveaux de difficultés des cinq patients en fonction de chaque tâche de training attentionnel. Le logiciel CogniPlus<sup>®</sup> ne permet pas d'avoir accès aux données brutes, ainsi, le calcul des écarts-types n'a pu être réalisé et seuls les temps de réponse moyen ont pu être recueilli. De ce fait, les figures qui suivent ne comportent pas les barres représentatives des écarts-types. Une autre variable de mesure était fournie en plus du temps de réponse, il s'agit du niveau de difficulté atteint pour chaque participant, chaque exercice et pour chaque session. La difficulté de l'exercice était croissante et augmentait de manière automatique en fonction des performances du patient. En d'autres termes, lorsque le patient atteignait un certain seuil au niveau des temps de réponse il passait au niveau supérieur lors duquel le nombre de stimulations était plus important que lors du niveau inférieur. La difficulté pouvait également être régressive dans le cas où le participant était trop ralenti.

## **2.1 Caractéristiques des patients**

Le patient 1 est un homme de 26 ans, victime d'un accident de la route survenu en janvier 2008. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=5) entraînant des lésions diffuses. Il a effectué l'évaluation pré-training 25 mois après son traumatisme.

Le patient 2 est un homme de 45 ans, victime d'un accident de la route survenu en juillet 2001. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=non spécifié) avec des lésions principalement frontales. Il a effectué l'évaluation pré-training 106 mois après son traumatisme.

Le patient 3 est un homme de 27 ans, victime d'un accident survenu lors d'une activité sportive en avril 2010. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=non spécifié) avec des lésions principalement fronto-temporales droites. Il a effectué l'évaluation pré-training seulement un mois après son traumatisme.

Le patient 4 est un homme de 28 ans, victime d'un accident de voiture survenu en mars 2010. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=5) avec des lésions principalement frontales. Il a effectué l'évaluation pré-training 2 mois après son traumatisme.

Le patient 5 est un homme de 54 ans, victime d'un accident de vélo survenu en juin 2010. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=7) avec des lésions touchant principalement l'hémisphère gauche. Il a effectué l'évaluation pré-training 2 mois après son traumatisme.

## **2.2 Tâche d'alerte phasique**

L'alerte phasique permet au patient de se préparer à réagir plus rapidement face à un événement soudain. La tâche d'alerte phasique proposée par le logiciel CogniPlus intègre cette préparation à l'action par le biais d'un stimulus avertisseur visuel qui varie selon les essais. Il peut s'agir par exemple un panneau de danger indiquant un éboulement de pierre ou bien un panneau indiquant une sortie de camion. La tâche combine des essais avec et sans stimulus avertisseur. En revanche, le logiciel ne permet pas de recueillir les données en fonction de ces deux conditions expérimentales. En d'autres termes, nous ne sommes pas en mesure de savoir si le stimulus avertisseur a représenté une aide pour les patients traumatisés crâniens. La Figure 60 permet néanmoins d'illustrer la vitesse de traitement de l'information des cinq patients à la tâche d'alerte phasique.

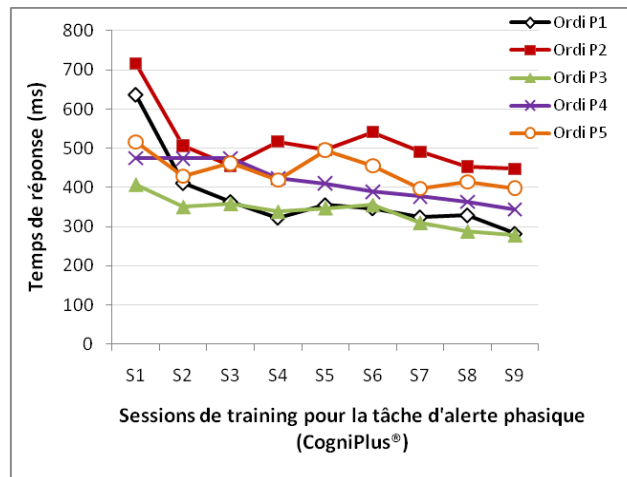


Figure 60. Temps de réponse à la tâche d'alerte phasique du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

On remarque un pattern assez similaire pour tous les patients, à savoir une diminution des temps de réponse de la première à la deuxième session (S1=550 ± 124.68 ms ; S2=434 ± 59.99 ms). Les temps de réponse se stabilisent ensuite jusqu'à la cinquième session, puis on observe une légère diminution jusqu'à la dernière séance de training chez tous les patients (S5=420 ± 72.55 ms ; S9=349.8 ± 73.41 ms). La chute des temps de réponse entre la première et la deuxième session peut s'expliquer par l'effet de nouveauté que la tâche représente. Les patients se sont habitués à cette tâche spécifique et obtiennent alors des temps de réponse plus rapides (à l'exception du patient 4). Cependant ces temps de réponse ne peuvent être considérés indépendamment du niveau de difficulté atteint au cours d'une session (Figure 61). En effet, l'augmentation du niveau de difficulté de la tâche peut provoquer une augmentation des temps de réponse et peut ainsi masquer une éventuelle amélioration du participant. Dans la tâche d'alerte phasique, le niveau de difficulté résidait dans la pression temporelle exercée lors de la conduite de la moto : plus le niveau de difficulté était important, plus la moto roulait rapidement.

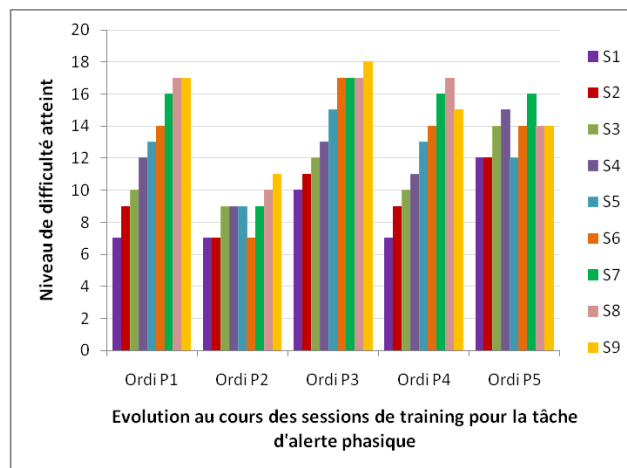


Figure 61. Evolution du niveau de difficulté à la tâche d'alerte phasique durant les neuf sessions de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

L'histogramme nous permet d'observer l'évolution de chaque participant au cours du programme d'entraînement. Bien que les patients traumatisés crâniens améliorent leur niveau de difficulté à la tâche d'alerte phasique de manière générale, nous avons identifiés des patterns d'évolution distincts. Les patients 1, 3 et 4 ont montré une amélioration progressive

et importante qui s'opère durant toute la durée du programme d'entraînement. Les patients 1 et 4 ont gagné dix niveaux entre le début et la fin du training, tandis que le patient 3 en a gagné huit. Parmi ces trois patients, seul le patient 4 a régressé de deux niveaux lors de la dernière session de training.

Le deuxième pattern que nous avons identifié concerne les patients 2 et 5 qui montrent une amélioration moins importante que les patients précédents. En effet, ces deux patients n'ont gagné que quatre niveaux durant tout le programme et montrent plusieurs régressions. Ainsi, on observe une certaine fluctuation des performances d'une session à une autre mais sans jamais revenir au niveau de départ (excepté pour une session : S6 pour le patient 2 et S5 pour le patient 5). Cependant, la faible amélioration entre S1 et S9 peut s'expliquer pour le patient 5 par le fait que son niveau de départ est déjà élevé (S1=niveau 12). De ce fait, la marge de progression était plus restreinte (« effet plafond »). Autrement dit, le patient a atteint dès la première session de training, un seuil à partir duquel il est difficile de s'améliorer davantage.

### 2.3 Tâche de vigilance

La vigilance se mesure par la capacité à maintenir son attention pendant de longues périodes. La mesure qui paraît la plus adéquate dans ce type de tâche est l'écart-type qui permet de mesurer la variabilité des temps de réponse au cours d'une session de training. Ne disposant pas de cette mesure via le logiciel, nous présenterons seulement les temps de réponse moyens des cinq patients traumatisés crâniens en fonction des séances de training (Figure 62). Cette tâche ne comportait qu'un seul niveau de difficulté, ainsi, les temps de réponse représentent l'unique mesure pour la vigilance.

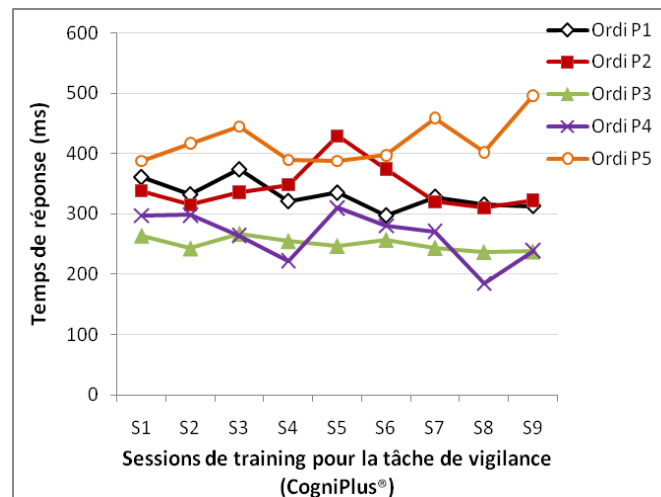


Figure 62. Temps de réponse à la tâche de vigilance du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

Les temps de réponse des cinq patients traumatisés crâniens ne semblent pas s'améliorer au cours du programme de training. En effet, on observe de manière générale une certaine stabilité entre les temps de réponse obtenus lors de la première session comparé aux temps de réponse de la dernière session (S1=329.6 ± 49.58 ms ; S9=321.6 ± 105.24 ms). On note cependant quelques profils qui diffèrent des autres. Dans un premier temps, on observe une certaine fluctuation des temps de réponse avec une augmentation lors de la cinquième session pour les patients 2 et 4. Il semblerait que la monotonie de la tâche de vigilance ait entraîné une diminution de la vitesse de traitement lors des séances intermédiaires du



programme (soit une augmentation des TR). Dans un second temps, on note une augmentation progressive des temps de réponse pour le patient 5. Cependant, on ne conclut pas à une dégradation des performances étant donné que l'écart est faible entre la première et la dernière session (108 ms). Les caractéristiques psychologiques du patient 5 peuvent avoir influencé et expliquer en partie cette augmentation des temps de réponse. Effectivement, ce patient a été inclus dans l'étude seulement deux mois après son accident. De fait, il était encore « sous le choc » et n'était pas stable psychologiquement d'après les médecins. De plus, il manquait totalement de motivation pour réaliser les exercices contrairement aux autres patients qui les trouvaient plutôt ludiques. Ce désintérêt pour la tâche était croissant d'une séance à l'autre, pouvant ainsi être à l'origine du ralentissement observé de la vitesse de traitement de l'information.

## 2.4 Tâche d'attention sélective

L'attention sélective permet de sélectionner l'information pertinente pour la tâche en cours parmi l'ensemble des informations qui sont présentes dans l'environnement. La tâche consistait à appuyer sur un bouton-réponse lorsque le stimulus cible (un personnage) était présenté à l'écran de l'ordinateur. D'autres personnages distincts de la cible représentaient les distracteurs. La Figure 63 illustre le temps de réponse des cinq participants à la tâche d'attention sélective pour les identifications de cibles correctes.

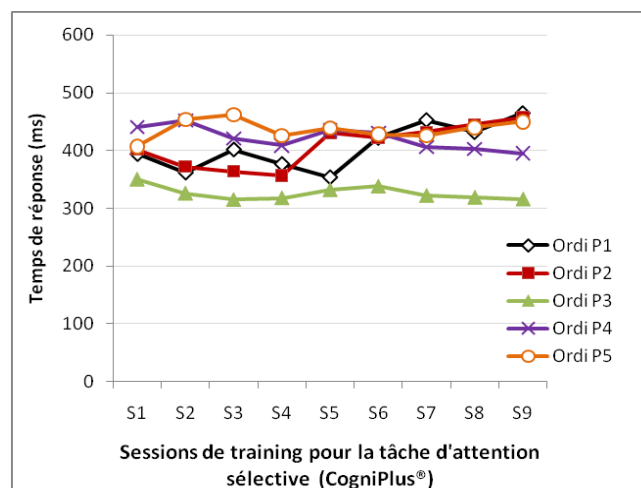


Figure 63. Temps de réponse à la tâche d'attention sélective du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

Les résultats des patients traumatisés crâniens peuvent être classés en deux catégories : soit ont observé une stagnation des TR durant l'intégralité du programme de training, soit une légère augmentation des TR. Les patients 3, 4 et 5 obtiennent des résultats qui réfèrent à la première catégorie. En effet, aucune amélioration n'a été observée chez ces patients durant les neuf séances de training (moyenne des 3 patients : S1=399.33 ms ; S3=399.33 ms ; S6=399 ms ; S9=387 ms).

Les patients 1 et 2 obtiennent des résultats de la deuxième catégorie. Ainsi, leurs temps de réponse augmentaient à partir de la cinquième session pour le patient 1 et de la quatrième session pour le patient 2, jusqu'à la fin du programme de training (Patient 1 : S5=354 ms, S9=465 ms ; Patient 2 : S4=357 ms, S9=457 ms). L'interprétation des résultats doit se faire en lien avec l'analyse de l'évolution du niveau de difficulté. Lorsque le niveau de difficulté augmentait, les stimuli étaient plus nombreux, pouvant alors influencer la vitesse de traitement de l'information. De plus, le passage d'un niveau de difficulté à un autre était

conditionné par les temps de réponse et également par le nombre d'erreurs commises par les patients. Ainsi, lorsqu'un patient augmentait de niveau cela signifiait qu'il avait diminué le nombre d'erreur à la tâche. La Figure 64 illustre l'évolution de cette mesure pour les cinq patients traumatisés crâniens.

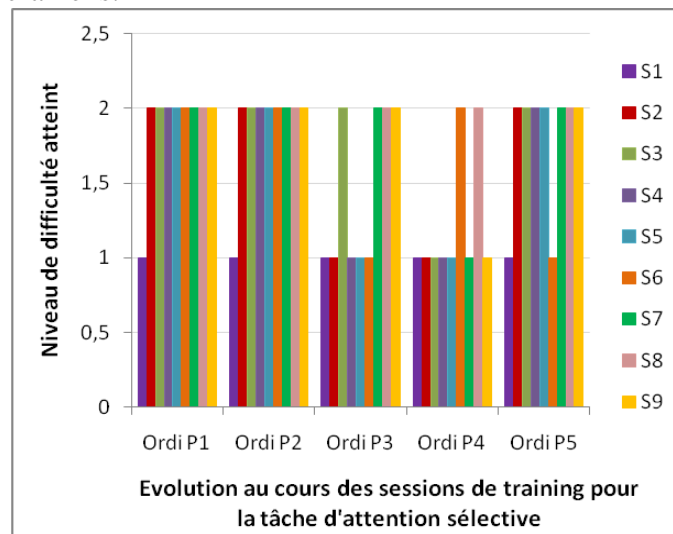


Figure 64. Evolution du niveau de difficulté à la tâche d'attention sélective durant les neuf sessions de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

On remarque d'ores et déjà que le niveau de difficulté atteint ne dépassait jamais le niveau deux, toutes sessions et patients confondus. Les patients qui ont fait le moins d'erreurs durant l'intégralité du training (qui ont le plus souvent atteint le niveau 2) sont les patients 1 et 2. Les résultats concernant le niveau de difficulté permettent d'interpréter les résultats quant aux TR. En effet, l'augmentation du temps de réponse observée chez ces deux patients, serait due au fait qu'ils ont effectué pratiquement toutes les sessions de training en niveau 2, soit avec un grand nombre de stimulations. De ce fait, ces patients étaient confrontés à de multiples distracteurs, mobilisant des ressources attentionnelles et par conséquent pouvant diminuer leur vitesse de traitement de l'information pertinente. Enfin, le patient Ordip5 a un pattern d'évolution semblable aux premiers patients décrits, à la différence qu'il a régressé lors de la sixième session.

Deux autres patients (patients 3 et 4) n'ont pas montré d'amélioration des temps de réponse durant l'intégralité du training, ni d'amélioration du niveau de difficulté durant la première partie du training. Ceci laisse supposer que le nombre d'erreur effectué était trop élevé pour permettre le passage au niveau supérieur. Cependant, ils se sont améliorés à partir de la cinquième session pour le patient 4 et à partir de la septième session pour le patient 3, sans engendrer d'augmentation au niveau des temps de réponse.

### 2.5 Tâche d'attention divisée

L'attention divisée est la capacité à effectuer deux tâches simultanément. Dans cette tâche informatisée le patient devait réaliser deux tâches simultanément (tâche visuelle et auditive). Plus le niveau de difficulté augmentait, plus le patient devait effectuer de tâches simultanément. Une deuxième tâche visuelle était ajoutée aux tâches précédentes du niveau 3 au 6, une troisième tâche visuelle du niveau 6 au 9 et enfin à partir du niveau 10 une deuxième tâche auditive se combinait à toutes les autres. La Figure 65 illustre en parallèle, l'évolution des temps de réponse et l'évolution du niveau de difficulté des cinq patients traumatisés crâniens durant la tâche d'attention divisée.

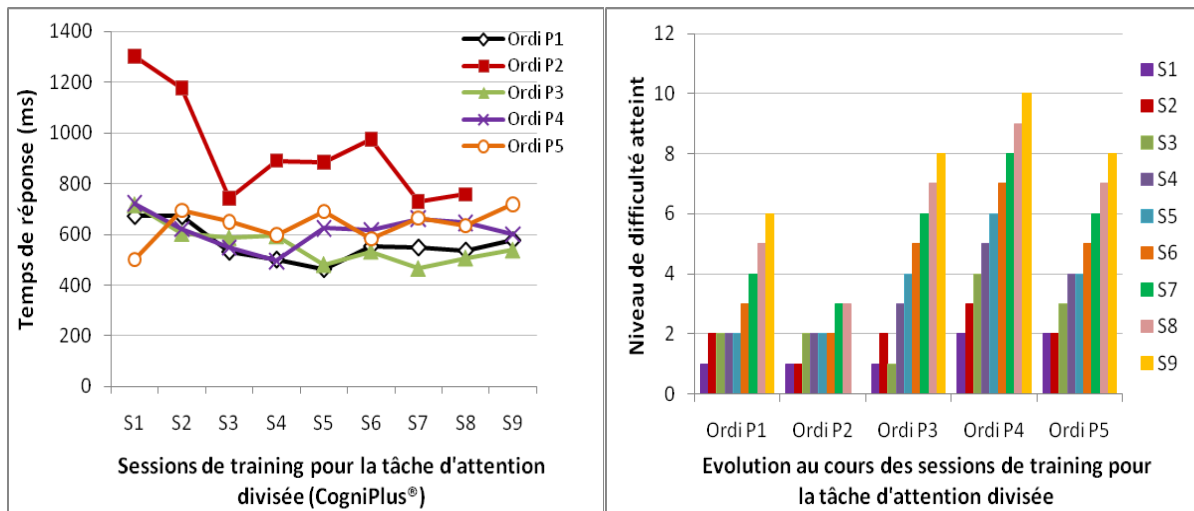


Figure 65. Evolution du temps de réponse et du niveau de difficulté à la tâche d'attention divisée du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

On aurait pu s'attendre à une augmentation des temps de réponse au fur et à mesure de la progression du niveau de difficulté, requérant de plus en plus de ressources attentionnelles. Or, quatre patients sur cinq obtiennent des temps de réponse relativement constants d'une session à une autre. De plus, un patient diminue ses temps de réponse au cours du programme d'entraînement. Le patient 2 est le seul à avoir un profil qui diffère des autres et ceci dans les deux mesures recueillies. En effet, il est le seul à avoir amélioré ses temps de réponse durant le training (S1=1302 ms ; S3=742 ms ; S5=884 ms ; S7=730 ms). De plus, cette diminution des temps de réponse est corrélée au profil du niveau de difficulté qui a plutôt tendance à stagner comparativement aux autres. Le patient 2 réagit plus rapidement parce qu'il reste au même niveau de difficulté au cours des différentes sessions.

Les quatre autres patients ont pratiquement augmenté d'un niveau à chaque session. La plus belle progression s'observe chez le patient 4 qui a échelonné 8 niveaux durant le programme de training. L'amélioration du niveau de difficulté de ces quatre patients entraînerait par lien de cause à effet une stagnation des temps de réponse. En effet, la tâche devenant de plus en plus coûteuse d'un point de vue attentionnel, l'amélioration n'a pu s'effectuer en termes de vitesse de traitement. En revanche, il est possible d'observer une diminution des temps de réponse lorsque le patient n'augmente pas ou très peu de niveau de difficulté (c'est le cas du patient 2).

Remarque : suite à un empêchement de dernière minute le patient 2 n'a pu terminer la dernière session de training, de ce fait l'exercice d'attention divisée n'a pas été réalisé et n'a pu être rattrapé.

## 2.6 Synthèse des résultats du groupe ordinateur

La Figure 66 permet de synthétiser les temps de réponse moyens et les niveaux de difficulté moyens des cinq patients traumatisés crâniens pour chacune des tâches attentionnelles au cours des neuf sessions de training.

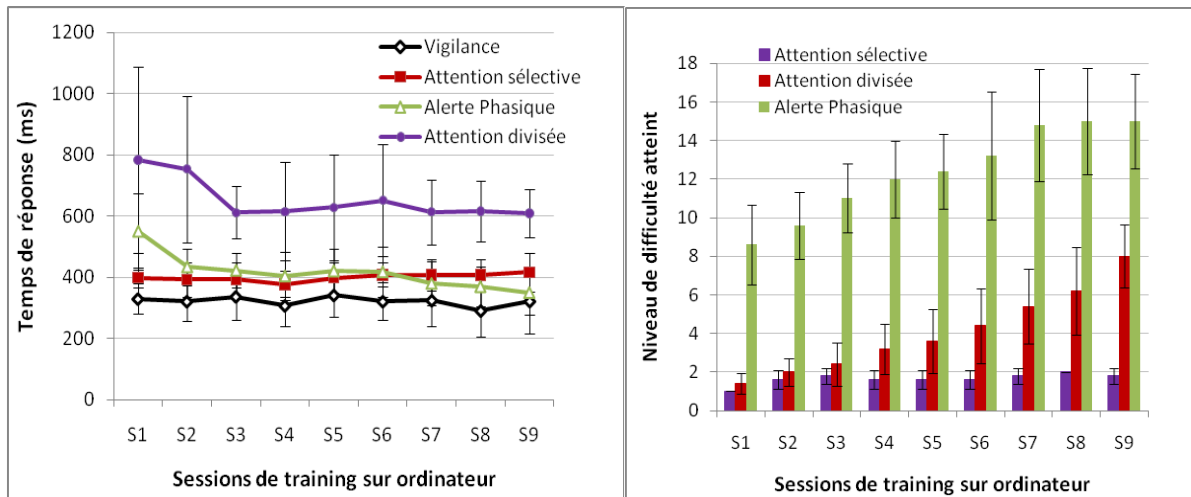


Figure 66. Temps de réponse et niveaux de difficulté atteints aux quatre tests attentionnels du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training

De manière générale, les patients n'ont pas diminué leur vitesse de traitement de l'information, excepté lors de la tâche d'attention divisée. Cependant, cette diminution des temps de réponse s'explique par un patient qui à défaut d'augmenter de niveau de difficulté à diminuer ses temps de réponse. Concernant la progression du niveau de difficulté, elle s'observe dans les trois tâches attentionnelles avec des intensités différentes. Il semblerait qu'il y ait un « effet plafond » pour la tâche d'attention sélective où les cinq patients n'ont jamais dépassé le niveau deux.

## **CHAPITRE 5 - DISCUSSION**

Notre problématique concerne la baisse de l'efficacité attentionnelle consécutive à un traumatisme crânien (Azouvi, et al., 1998) ou tout simplement aux effets de l'âge (Adam, et al., 2002; Hartley, 1992). Cette diminution de l'aptitude attentionnelle peut se répercuter sur la compétence de conduite automobile en la rendant moins sécuritaire (Brouwer, 2002a). La plasticité cérébrale pourrait néanmoins permettre de récupérer certaines aptitudes (Robertson & Murre, 1999). Pour répondre à cette problématique, nous avons mis au point un dispositif expérimental permettant d'entraîner l'attention chez des patients traumatisés crâniens et des personnes âgées par le biais d'un simulateur de conduite ou d'un ordinateur. L'objectif consistait à améliorer les compétences attentionnelles d'une part et l'aptitude à la conduite d'autre part. L'évaluation de ces compétences a été réalisée en pré-test (juste avant l'entraînement) et en post-test (juste après), grâce à une évaluation multiple comprenant : des tests neuropsychologiques attentionnels, des tests sur simulateur de conduite et un test sur route.

Notre hypothèse générale était la suivante : dans un contexte d'entraînement cognitif, les patients traumatisés crâniens et les personnes âgées pourraient améliorer leurs capacités attentionnelles et indirectement leurs aptitudes à la conduite automobile.

Nous avons également formulé l'hypothèse selon laquelle un training attentionnel sur simulateur permettrait d'obtenir un meilleur bénéfice qu'un training attentionnel sur ordinateur concernant les performances de conduite évaluées à la fois sur simulateur et sur route réelle. Nous nous attendions alors à une amélioration plus importante des performances des participants âgés et des patients traumatisés crâniens entraînés sur simulateur entre le pré-test et le post-test. Cette hypothèse repose sur le fait qu'un training sur simulateur serait plus écologique et donc plus proche d'une vraie situation de conduite automobile. Un tel training permettrait alors une facilitation du transfert des acquis lors des évaluations de conduite (sur simulateur ou sur route réelle). En revanche, les performances à l'évaluation neuropsychologique ne devraient pas être influencées par le type de training effectué (pas de différence entre les deux trainings). Nous discuterons cette hypothèse au regard de nos résultats lors de la première section de ce chapitre.

Nous nous attendions également à une amélioration progressive des performances des participants au cours des différentes sessions de training, quel que soit le type de training dont ils aient bénéficié. Nous discuterons des résultats relatifs à cette hypothèse dans la deuxième section de ce chapitre.

Enfin, nous avons fait des choix méthodologiques fondés sur des aspects théoriques, c'est ce dont nous discuterons dans la troisième et dernière section de ce chapitre.

## **I. DISCUSSION SUR L'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES EN FONCTION DU TYPE DE TRAINING**

Cette section porte sur les bénéfices d'un entraînement des capacités attentionnelles, chez les patients traumatisés crâniens et les personnes âgées. Il s'agit de discuter des performances des participants avant et après l'entraînement.

À partir des données de la littérature, nous avons choisi de constituer une baseline multicritères qui comprenait une évaluation neuropsychologique, une évaluation sur simulateur de conduite et une évaluation sur route réelle. L'effet d'un training attentionnel sur ces trois mesures est discuté ci-après.

Avant toute chose, il est important de discuter la taille de l'échantillon concernant les patients traumatisés crâniens. En effet, le faible effectif (N=10) est à prendre en considération dans l'interprétation des résultats. La fiabilité des résultats statistiques est d'autant plus grande que la taille de l'échantillon est importante et compte tenu de la petitesse de notre échantillon, les résultats de cette étude sont à considérer avec précaution. Le temps passé à développer les scénarios sur simulateur et à mettre en place le protocole nous a restreint pour l'inclusion des patients dans le temps imparti. Nous avons, par ailleurs, rencontré de grosses difficultés pour recruter des patients à l'hôpital. Ceci est sans doute en lien avec nos critères stricts d'inclusion et d'exclusion mais est aussi lié à la diminution du nombre de patients traumatisés crâniens dans les différents services hospitaliers. Nous sommes en mesure de nous demander si cette baisse d'effectif n'est pas liée à la diminution du nombre d'accidents de la circulation (selon l'ONISR de 2009).

## 1. Comparaison des performances entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur aux tests neuropsychologiques

Les deux types de training ayant une visée restauratrice destinée à améliorer les processus attentionnels, nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les participants amélioreraient leurs performances aux tests neuropsychologiques, de manière équivalente entre les deux groupes. Ainsi, l'entraînement, qu'il soit effectué sur ordinateur ou sur simulateur, devait permettre d'obtenir en post-test une amélioration des performances à l'évaluation neuropsychologique. **Notre hypothèse n'a pu se vérifier que partiellement** dans la mesure où le training sur ordinateur a permis d'obtenir une amélioration des performances plus importante que le training sur simulateur chez les patients traumatisés crâniens.

Concernant les **patients traumatisés crâniens**, le groupe ayant bénéficié de l'entraînement sur simulateur de conduite ne s'est amélioré pour aucun test neuropsychologique alors que le groupe entraîné sur ordinateur s'est amélioré au Mesulam désorganisé et au TMTB.

Le groupe entraîné sur **ordinateur** a obtenu des temps de réponse plus rapides au test du Mesulam. Les patients se sont améliorés seulement dans la partie où les symboles sont disposés de manière désorganisée sur la feuille. Si nous avons observé une diminution des temps de réponse dans les deux parties nous aurions pu conclure à une amélioration générale de la vitesse de traitement du stimulus cible. Or dans ce cas précis, il semblerait qu'il s'agisse d'une amélioration spécifique des capacités d'attention sélective. Le patient sélectionne plus rapidement l'information pertinente lorsque celle-ci est dispersée parmi des distracteurs de façon désorganisée. En effet, lorsque la cible et les distracteurs sont suffisamment similaires, la tâche implique une orientation volontaire (endogène) de l'attention (et non automatique, exogène). De ce fait, pour réussir la tâche en un minimum de temps, le patient doit mettre en place une stratégie d'exploration visuelle dans la partie désorganisée du test.

Les patients du **groupe ordinateur**, ne se sont pas améliorés au TMTA mais ils étaient plus rapides en post-test pour effectuer la partie B du TMT. Ce résultat est en faveur d'une amélioration de leur capacité de flexibilité attentionnelle. En effet, dans la partie A du test, il s'agit de relier simplement des chiffres dans l'ordre chronologique. Ce test permet d'évaluer les capacités d'attention sélective, l'exploration visuelle et la vitesse de traitement de l'information. Dans la partie B, le patient doit switcher entre les chiffres et les lettres, il doit alterner chiffre et lettre en respectant l'ordre chronologique des chiffres et l'ordre

alphabétique des lettres. Ce test met en jeu les mêmes fonctions que la partie A auxquelles s'ajoute le processus de flexibilité mentale. L'alternance attentionnelle serait donc facilitée par le training sur ordinateur. Nos résultats ne sont pas surprenants compte-tenu de la similarité avec ceux obtenus par Niemann et al. (1990), qui avaient examiné l'efficacité d'un training attentionnel informatisé auprès de patients traumatisés crâniens. Leur programme permettait d'entraîner l'attention sélective visuelle, l'attention sélective auditive et l'attention divisée et l'amélioration principale avait été observée au TMTB. Les auteurs avaient conclu qu'un training attentionnel permettait d'améliorer les capacités de flexibilité mentale de patients traumatisés crâniens. La congruence de nos résultats nous laisse penser que l'effet d'un training attentionnel, ne comportant pourtant pas d'exercices spécifiques sur l'entraînement de la capacité de flexibilité attentionnelle, permettrait tout de même d'améliorer cette fonction, par un phénomène de généralisation du bénéfice du training.

Pour évaluer la compétence de conduite de patients cérébro-lésés, le TMTB a été utilisé dans beaucoup d'études, en combinaison avec d'autres tests neuropsychologiques (Fattal, et al., 1998; Fattal, et al., 2000; Fisk, et al., 2002; Lundqvist & Rönnerberg, 2001; Mazer, et al., 1998; Schanke & Sundet, 2000; Van Zomeren, et al., 1988). Il a été, par ailleurs, considéré comme meilleur prédicteur des performances de conduite sur route réelle auprès d'une population de patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (Mazer, et al., 1998). Ces auteurs avaient cherché par une analyse en régression logistique à établir la meilleure combinaison de tests pour prédire des performances à un test sur route. Leurs résultats étaient en faveur d'un test visuo-moteur et du TMTB. Par conséquent, cette corrélation observée entre la performance au TMTB et la performance en situation de conduite réelle, nous laisse supposer que l'amélioration du groupe ordinateur au TMTB, devrait aussi entraîner une amélioration au test sur route réelle. Cette différence de performances entre le groupe ordinateur et simulateur va-t-elle se retrouver au niveau du test de conduite réelle ? La réponse est oui, le groupe ordinateur s'est bien plus amélioré que le groupe simulateur lors du test de conduite sur route réelle. C'est ce dont nous discuterons dans la section de chapitre prévue à cet effet.

Pour résumer, les fonctions attentionnelles qui ont bénéficié de l'effet du training sur ordinateur sont la flexibilité attentionnelle et l'attention sélective. La sélectivité de l'attention semble alors plus facilement rééduquée par rapport à l'intensité de l'attention chez les patients traumatisés crâniens. Ces résultats sont congruents avec ceux de Sturm et al. (1997) qui avaient montré que les aspects sélectifs de l'attention se réduisent plus facilement étant donné qu'ils peuvent bénéficier à la fois d'un entraînement attentionnel centré sur la sélectivité et d'un entraînement centré sur l'intensité. En revanche, les aspects intensifs de l'attention ne peuvent être réduits que par un entraînement centré sur l'intensité de l'attention. De plus, Sturm et al. (1997) ont montré qu'un patient ayant subi un accident vasculaire cérébral et présentant des déficits de l'intensité de l'attention pouvait obtenir une dégradation de ses performances si son entraînement attentionnel portait sur l'aspect sélectif. Dans notre étude, les patients ont bénéficié d'un double entraînement de la sélectivité et de l'intensité de l'attention. Ainsi, nous pouvons penser que l'effet du training sélectif a pu gommer l'effet du training intensif chez les patients ayant un déficit spécifique de la dimension intensive de l'attention. En effet, un training non adapté (entraînement de l'aspect sélectif chez un patient avec troubles intensifs) pourrait engendrer une annulation du bénéfice de l'entraînement de l'intensité de l'attention.

Concernant les performances obtenues aux tâches informatisées du TEA, on ne note aucune différence entre le pré-test et le post-test, et ce pour les deux groupes. En effet, 59 scores sur 130 étaient considérés comme déficitaires (inférieur au percentile 25) au pré-test et on en comptabilisait encore 53 en post-test. La différence n'était donc pas assez grande pour



ressortir de manière significative dans les analyses statistiques. Or, dans l'étude de Sturm et al. (1997), l'amélioration des performances en post-test s'observait au travers des performances obtenues aux sub-tests du TEA. Leur programme de training attentionnel était informatisé et permettait d'entraîner les mêmes composantes attentionnelles que dans notre étude (l'alerte, la vigilance, l'attention sélective et l'attention divisée), à l'aide de tests différents mais ressemblants. De plus, notre training sur ordinateur était très similaire de celui utilisé par Sturm et commercialisé par la même entreprise (Schuhfried), laissant penser que nos résultats suivraient la même trame. Nous supposons alors, dans un premier temps, que cette différence de résultats est liée au fait que ce n'est pas la même population qui a été étudiée, puisqu'il s'agissait de patients avec accident vasculaire cérébral dans l'étude de Sturm. Or, un traumatisme crânien engendre principalement des lésions diffuses alors que les lésions sont plus circonscrites suite à accident vasculaire cérébral. Cependant, les résultats de l'étude de Sturm et al. (1997) ont été confirmés par une étude multicentrique incluant des patients traumatisés crâniens (Sturm, 1999). La seule interprétation plausible résiderait alors dans la différence de méthodologie entre les deux études. Dans notre étude, chaque patient a été entraîné sur chaque processus attentionnel, alors que dans l'étude de Sturm et al. (1997, 1999), un diagnostic préalable au training était effectué, permettant de cerner le déficit attentionnel précis du patient avant de débiter la rééducation. Ainsi, le patient n'était entraîné que sur les exercices mettant en jeu la composante attentionnelle diagnostiquée comme déficitaire. Le programme de rééducation s'adaptait au pattern de troubles attentionnels, contrairement à notre étude où tous les participants bénéficiaient du même training quels que soient leurs déficits. Autrement dit, il semble justifié d'entreprendre une prise en charge à condition d'avoir préalablement défini quel aspect attentionnel spécifique fera l'objet du traitement.

Nous sommes en mesure de nous demander pourquoi les patients du groupe simulateur ne se sont pas améliorés lors de l'évaluation neuropsychologique.

Les exercices conçus sur ordinateur seraient peut-être plus adaptés que ceux développés sur simulateur pour améliorer la capacité de flexibilité mentale (TMTB) et la recherche visuelle (Mesulam désorganisé). Lors de la tâche d'entraînement de l'attention sélective sur ordinateur, le stimulus-cible pouvait apparaître à trois endroits différents (droite, gauche, haut). Dans cette tâche, le patient devait donc explorer chacun des lieux, alors que dans la tâche d'attention sélective réalisée sur simulateur de conduite, la localisation de la cible était beaucoup plus stable et renvoyait à des lieux d'exploration habituels en conduite (panneaux disposés à droite ou à gauche). Ainsi, la tâche informatisée aurait davantage favorisé le développement de l'exploration visuelle chez les patients traumatisés crâniens. Le support utilisé peut également jouer un rôle. L'ordinateur est peut-être un support plus adapté que le simulateur pour entraîner l'attention. En effet, lors du training sur ordinateur, la réponse était donnée en appuyant sur un bouton-réponse, tout comme dans la plupart des tests de l'évaluation neuropsychologique. En revanche, lors du training sur simulateur, la réponse pouvait être verbale, enregistrée à partir du mouvement du volant ou de l'appui sur la pédale de frein. On a donc une similarité plus grande entre les tests proposés lors de l'entraînement sur ordinateur et ceux proposés lors de l'évaluation neuropsychologique.

Une autre hypothèse explicative peut être la distance entre le traumatisme et le début de l'entraînement. Nous savons que le groupe de patients ayant bénéficié du training sur simulateur était en moyenne plus à distance du traumatisme (3/5 à plus de 2 ans du TC) que le groupe de patients entraîné sur ordinateur. Or, selon Gansler et McCaffrey (1991), une rééducation attentionnelle serait moins efficace à distance du traumatisme. Ces auteurs ont réalisé une étude auprès de quatre patients cérébro-lésés testés 27 ans après leur traumatisme crânien. Ces patients ont effectué un training attentionnel avec des tests papier-crayon et sur

ordinateur. La baseline comprenait des tests neuropsychologiques standards papier-crayon mesurant la vitesse de traitement de l'information et l'attention soutenue, ainsi que des questionnaires mesurant les activités de vie quotidienne et la dépression. L'étude n'a montré aucune amélioration entre le pré-test et le post-test aux tests neuropsychologiques, exceptée pour un patient. Cependant, malgré l'absence d'amélioration, les quatre patients traumatisés crâniens ont amélioré leur score subjectif de satisfaction dans les activités de vie quotidienne. Les auteurs concluent qu'il est difficile d'améliorer les processus attentionnels lorsque les patients sont à distance du traumatisme, bien qu'ils aient le sentiment subjectif d'être plus performants. Nous supposons alors que si le groupe sur simulateur de conduite ne s'est pas amélioré aux tests neuropsychologiques, cela peut provenir du fait que la plupart des patients était à distance du traumatisme et donc trop éloignés de la phase pendant laquelle la récupération est facilitée. Cependant, nous sommes en mesure de nous demander si, par le biais de mécanismes de compensation ou par une amélioration de l'estime de soi, cette différence entre les groupes va se répercuter sur les performances au test de conduite. C'est ce dont nous discuterons dans une partie dédiée à cet effet.

De plus, parmi le groupe entraîné sur ordinateur, trois patients sur cinq étaient seulement à un ou deux mois de l'accident (phase subaiguë), ce qui creuse encore plus l'écart entre les deux groupes. L'amélioration observée chez les patients du groupe ordinateur peut ainsi être expliquée, en partie, par la récupération spontanée. Une manière de contrer ce biais aurait été d'effectuer deux fois l'évaluation pré-training de manière à vérifier la stabilité des déficits avant de commencer le training (Kewman, et al., 1985).

En ce qui concerne les **16 personnes âgées** incluses dans l'étude, nous avons pu vérifier notre hypothèse selon laquelle un entraînement attentionnel, quel qu'il soit, permet d'améliorer de manière comparable les performances des participants ayant une diminution de l'efficacité attentionnelle en lien avec l'âge. En effet, les participants âgés ayant bénéficié du training sur ordinateur ont autant amélioré leurs performances que ceux entraînés sur simulateur de conduite, mais à des tests neuropsychologiques différents.

Notons tout d'abord l'amélioration, pour le **groupe simulateur**, de l'index d'alerte phasique. Le training sur simulateur relatif à l'alerte phasique aurait permis d'apprendre aux personnes âgées à mieux se préparer à l'action grâce à la prise en considération d'un stimulus visuel alertant le sujet de la survenue d'un danger imminent. Bien que l'alerte phasique semble préservée au cours du vieillissement normal (Hartley, 1992), il semble tout de même possible d'améliorer la performance de ce processus dans un contexte d'entraînement. Cependant, cette amélioration est à considérer avec précaution dans la mesure où, dès le départ, la performance des deux groupes sur cette dimension attentionnelle était différente, le groupe simulateur étant moins performant que le groupe ordinateur. Nous supposons alors que les participants du groupe simulateur pouvaient s'améliorer suite au training contrairement à ceux du groupe ordinateur qui obtenaient déjà des performances optimales.

De plus, le **groupe simulateur** a amélioré de manière tendancielle ses capacités de flexibilité attentionnelle. En effet, le coût dû à l'alternance au TMT était moins important en post-test pour les participants âgés entraînés sur simulateur par rapport à ceux entraînés sur ordinateur. Ainsi, de la même manière que pour les patients traumatisés crâniens, nous sommes en mesure de nous demander si cette différence entre les groupes va se répercuter au niveau des performances sur route réelle, le TMT étant considéré comme un bon prédicteur de la compétence de conduite (Mazer, et al., 1998).

Le **groupe ordinateur** s'est quant à lui amélioré au test Go/No-go et présente une tendance pour une amélioration au test de Mesulam désorganisé. Ces deux tests sont connus pour mettre en jeu l'attention sélective. Le bénéfice ainsi observé, peut cependant provenir

d'une amélioration de la vitesse de traitement de l'information. En effet, la latence des réponses chez les personnes âgées engagées dans des activités cognitives variées est approximativement une fois et demi plus longue que celle des sujets jeunes (Salthouse, 1985; cités par Adam, et al., 2002). De ce fait, il ne serait pas surprenant qu'à force d'entraînement, les participants âgés soient plus rapides. Cependant, si cette hypothèse était valide, nous aurions également dû observer une diminution des temps de réponse lors de la partie organisée du test de Mesulam, ce qui n'a pas été le cas. Cette amélioration n'a pas été observée. Ainsi, il s'agirait plutôt d'une amélioration de l'attention sélective. Enfin, le nombre d'erreurs au test Go/No-go étant resté stable entre le pré-test et le post-test, nous faisons l'hypothèse d'une amélioration spécifique de la sélection de l'information pertinente et non de l'inhibition du distracteur. En effet, une amélioration des processus inhibiteurs se serait traduite par une diminution du nombre d'erreurs entre le pré-test et le post-test.

Ainsi, chez les personnes âgées, les deux dimensions attentionnelles (sélectivité et intensité) se sont améliorées.

Notre hypothèse selon laquelle les performances à l'évaluation neuropsychologique ne devraient pas être influencées par le type de training effectué (pas de différence entre les deux trainings), n'a donc pas pu être validée pour les patients traumatisés crâniens mais a pu être observée chez les personnes âgées. Ces résultats renforceraient alors l'hypothèse émise lors de l'interprétation des données des patients avec traumatisme crânien, à savoir que la différence entre les trainings serait en lien avec la récupération spontanée qui dépend largement de la distance du traumatisme. En effet, dans le groupe des personnes âgées, les caractéristiques générales sont les mêmes entre les deux groupes de trainings et les résultats sont semblables. La différence obtenue dans le groupe des patients traumatisés crâniens proviendrait donc davantage de l'hétérogénéité des patients constituant les groupes que du type d'entraînement lui-même.

Le profil général des deux populations comporte des caractéristiques communes. En effet, que ce soit pour la population des patients traumatisés crâniens ou la population des personnes âgées, le training attentionnel a permis d'améliorer des processus spécifiquement entraînés durant le programme (l'attention sélective et l'alerte phasique) et des processus non entraînés : la flexibilité attentionnelle. Ainsi, l'entraînement a permis un effet de généralisation à d'autres fonctions cognitives qui ne faisaient pas partie intégrante du training. En revanche, deux processus entraînés durant les trois semaines de programme n'ont pas progressé du pré-test au post-test, il s'agit de la vigilance et de l'attention divisée. Les performances des participants, et notamment des patients traumatisés crâniens, étaient pourtant déficitaires à ces deux tests, lors de l'évaluation pré-training.

## **2. Comparaison des performances entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur aux tests sur simulateur de conduite**

Certains participants ont présenté le « mal du simulateur » lors de l'étape de prise en main ou lors de l'évaluation sur simulateur de conduite. Ces participants étaient exclusivement dans le groupe des personnes âgées. Cette observation est congruente avec les données de la littérature (Brooks, et al., 2010; Roenker, et al., 2003), et serait due au fait que les problèmes d'équilibre et les vertiges augmentent avec l'âge (Brooks, 2010). Si on prend en compte le fait que les patients traumatisés crâniens de notre étude sont jeunes et le fait que les sujets âgés sont plus sensibles que les sujets jeunes, il est donc justifié que les personnes âgées

aient été bien plus malades que les patients traumatisés crâniens durant l'expérimentation sur simulateur de conduite.

Il est important de noter que les scénarios de conduite utilisés durant l'évaluation sur simulateur (pré-test et post-test) différaient de ceux utilisés lors de l'entraînement. De ce fait, les éventuelles améliorations obtenues à l'évaluation post-training sur simulateur de conduite, ne pouvaient s'expliquer par un simple effet de l'acquisition d'une capacité spécifique à réaliser une tâche, et reflétaient bien au contraire un bénéfice du training à proprement dit.

Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les participants obtiendraient de meilleurs scores sur simulateur de conduite après le programme d'entraînement, et ce d'autant plus si le training était réalisé lui-même sur simulateur de conduite. **Notre hypothèse a pu être validée.**

L'évaluation sur simulateur de conduite est la seule mesure pour laquelle les participants (âgés ou traumatisés crâniens) entraînés sur simulateur de conduite se sont plus améliorés que ceux entraînés sur ordinateur.

Concernant les **patients traumatisés crâniens** ayant bénéficié du training sur **simulateur** de conduite, nous notons une amélioration significative de la compétence générale de conduite, du sous-score d'adaptation de la vitesse et du placement de voie lors du parcours sur autoroute. De plus, on observe une amélioration tendancielle concernant leurs taux de réussite, d'exploration visuelle et du respect de la signalisation. En d'autres termes, les patients ont réagi de façon plus appropriée durant l'intégralité de l'évaluation sur simulateur, et cela s'objective par exemple par le fait qu'ils ont eu moins d'accidents lors des situations de queues de poissons, un meilleur respect des consignes, et/ou une meilleure prise en considération des panneaux de signalisation. En effet, le nombre de patients du groupe simulateur ayant « grillés » un feu rouge ou orange est bien moins important lors du post-test comparé au pré-test. Concernant le **groupe ordinateur**, nous ne relevons qu'une amélioration de la performance de conduite globale en centre-ville et une tendance à l'amélioration sur autoroute. De plus, le gain obtenu entre le pré-test et le post-test était significativement plus important pour le groupe simulateur que pour le groupe ordinateur concernant la mesure de compétence globale sur autoroute.

Cette différence entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur, au bénéfice du groupe simulateur, est également observée, et même accentuée, auprès des **personnes âgées**. En effet, pour les participants âgés, le groupe entraîné sur ordinateur ne s'est amélioré sur aucune mesure du test sur simulateur de conduite. Les participants âgés entraînés sur **simulateur** ont quant à eux amélioré leurs performances d'exploration visuelle sur autoroute, et leur score à la grille en double tâche (conversation avec l'expérimentateur). L'amélioration de l'exploration visuelle après entraînement sur simulateur ne semble pas surprenante dans la mesure où le simulateur procure un angle de vue de 180°. Le training sur ordinateur était réalisé quant à lui sur un écran d'ordinateur de 16 pouces, ne permettant pas l'exploration en périphérie du champ visuel. Par ailleurs, le fait que les personnes âgées aient augmenté leur performance en double tâche signifie probablement qu'elles ont su mieux répartir leurs ressources attentionnelles. Nous disposons d'une réserve de ressources attentionnelles à capacité limitée (Kahneman, 1973). De ce fait, lorsque deux tâches sont réalisées simultanément nous devons partager nos ressources attentionnelles entre ces deux activités. Dans notre étude, les participants âgés ont dû partager leurs ressources entre la conduite sur simulateur et la conversation avec l'expérimentateur. Lors de la phase de training, le groupe simulateur a été habitué à parler et conduire en même temps. Les participants devaient en effet énoncer verbalement leur réponse à la tâche de calcul mental pendant qu'ils

conduisaient. En revanche, lors de l'entraînement de l'attention divisée sur ordinateur, les participants âgés devaient uniquement répondre en appuyant sur un bouton réponse. Aucune réponse verbale n'était exigée. Cet entraînement, uniquement dans le groupe simulateur, se serait alors transposé à l'évaluation sur simulateur, alors que dans le groupe ordinateur, la conversation avec l'expérimentateur représentait un effet de nouveauté. Le partage des ressources attentionnelles aurait donc été moins évident pour le groupe ordinateur et aurait impacté leur compétence de conduite sur simulateur (mesurée par la grille d'observation).

Le fait que la performance globale de conduite sur simulateur soit meilleure après un entraînement sur simulateur de conduite comparé à un entraînement sur ordinateur, ne paraît pas surprenant. En effet, ceci est cohérent avec les données de la littérature. Dans l'étude d'Akinwuntan et al. (2005b), réalisée auprès de patients victimes d'un accident vasculaire cérébral, seul le groupe expérimental (entraîné sur simulateur de conduite) s'était amélioré au test sur simulateur de conduite. Le groupe contrôle (entraîné avec des jeux ciblant les fonctions attentionnelles et exécutives) n'avait quant à lui, montré aucune amélioration. Nous pouvons conclure que les données observées renforcent le principe de l'apprentissage moteur, selon lequel le bénéfice de l'apprentissage est plus grand lorsque l'habileté est entraînée dans un contexte similaire à l'évaluation (Magill, 2001; cité par Akinwuntan, et al., 2005b). En d'autres termes, l'amélioration obtenue après un training est meilleure lorsque l'outil utilisé pour l'évaluation (simulateur de conduite) est identique au support choisi pour l'entraînement. La similarité des activités motrices entre le training et l'évaluation permet d'améliorer les performances, qui, du fait de l'entraînement, deviennent moins coûteuses (plus automatisées) et nécessitent donc moins de ressources attentionnelles.

Cependant, nos résultats concernant les personnes âgées du groupe ordinateur, vont à l'encontre de ceux obtenus dans l'étude de Cassavaugh et Kramer (2009). En effet, ces auteurs montrent que chez les personnes âgées, le bénéfice d'un training sur ordinateur ciblant les processus attentionnels se transfère aux performances sur simulateur de conduite. Ils concluent que le transfert est possible de l'ordinateur vers le simulateur de conduite. Nos résultats ne vont pas dans ce sens. La différence entre leur étude et la nôtre réside dans le fait que Cassavaugh et Kramer (2009) n'ont pas mesuré la compétence de conduite elle-même sur simulateur, mais les temps de réponses à une tâche de poursuite de voiture, une tâche de mémoire visuelle, une tâche de surveillance et deux doubles tâches. Nous supposons alors que leur training sur ordinateur a permis d'améliorer, chez des personnes âgées, des processus cognitifs spécifiques (vitesse de traitement de l'information, attention sélective ou divisée), mais pas la compétence de conduite sur simulateur.

Enfin, nous aurions pu penser que l'amélioration observée pour le groupe simulateur était due à un effet test-retest (entre le pré et le post-test) étant donné que les participants ont effectué deux fois les mêmes tâches sur simulateur (à un mois d'intervalle). Cependant, le fait que le groupe ordinateur n'ait quant à lui pas progressé, vient infirmer cette hypothèse. Un biais méthodologique fréquent dans la plupart des études, est le fait qu'il n'y ait pas de groupe contrôle permettant de vérifier l'effet test-retest d'une évaluation (Sohlberg, et al., 2003). Notre training sur ordinateur aura ainsi endossé le statut de training de contrôle, nous permettant de différencier un effet d'apprentissage (observable que dans un groupe) d'un effet test-retest. Nous pouvons donc conclure que l'amélioration observée chez les participants entraînés sur simulateur de conduite est bien due à un effet d'apprentissage. L'argument du test-retest n'a pas été abordé dans la partie sur l'évaluation neuropsychologique dans la mesure où les tests utilisés n'ont pas, ou peu, d'effet test-retest connu. De même, lors de l'évaluation sur route, nous supposons que cet effet ne peut pas avoir lieu car même si le parcours routier reste le même, la scène routière (trafic, environnement, etc.) diffère nécessairement entre le pré-test et le post-test.

Que ce soit chez les patients traumatisés crâniens ou les personnes âgées, l'évaluation de conduite sur simulateur en centre-ville nous a également permis d'observer une amélioration des temps de réponse lors de la tâche qui consiste à réagir le plus vite possible à l'ouverture des portières des véhicules en stationnement sur la voie de droite. Cette tâche de réaction face à l'ouverture de portières était réalisée sous deux conditions expérimentales, en simple tâche (temps de réaction seul) et en double tâche (temps de réaction et conversation avec l'expérimentateur). Les résultats ont permis d'objectiver dans un premier temps, une dégradation des performances en pré-test lors de la double tâche comparée à la simple tâche. Les participants (personnes âgées et patients traumatisés crâniens) étaient plus ralentis pour réagir à la survenue de l'obstacle lorsqu'ils discutaient, entraînant ainsi une augmentation de leurs temps de réponse. Autrement dit, la mise en jeu de l'attention divisée lors de la double tâche se manifeste sur les temps de réponse des participants, mais pas sur leur score de conduite. Une des variables importante pouvant affecter la performance de conduite est la charge cognitive, définie comme la quantité de ressources de traitement de l'information utilisée pour la tâche principale (Amado & Ulupinar, 2005). Dans une situation de double tâche, la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour effectuer la tâche principale (ici la conduite) est diminuée, du fait que l'attention est aussi requise pour la tâche secondaire (ici la conversation). La dégradation des temps de réponse entre la simple tâche et la double tâche peut ainsi s'expliquer par une diminution des ressources attentionnelles disponibles pour la tâche en cours.

Lors du post-test, on observe toujours cette différence entre la simple et la double tâche (coût dû à la double tâche). Cependant, les **patients traumatisés crâniens** du groupe **ordinateur** ont diminué davantage leur temps de réponse en double tâche (conversation avec l'expérimentateur) comparé au groupe simulateur. Nous postulons que cette différence pourrait être en lien avec la complexité de la tâche entraînée d'une part et le choix de la mesure lors de l'évaluation d'autre part. L'exercice d'entraînement de l'attention divisée réalisé sur ordinateur était plus complexe que celui réalisé sur simulateur dans la mesure où le participant était obligé de répartir ses ressources attentionnelles de manière équitable entre les différentes tâches. En effet, lors du training sur ordinateur, il s'agissait de surveiller plusieurs moniteurs visuels et d'écouter une annonce audio en même temps, le participant était donc tributaire du rythme imposé par l'ordinateur. En revanche, la tâche impliquant l'attention divisée sur simulateur de conduite consistait à conduire et à réaliser des calculs mentaux. Le participant pouvait ainsi ralentir ou mettre en attente le traitement de la tâche secondaire (calcul mental) lorsque la tâche principale (maintien de la trajectoire du véhicule lors de rafales de vents) se complexifiait. Par conséquent, sur simulateur, la gestion des ressources attentionnelles allouées à l'une ou l'autre tâche était fonction de la complexité de la tâche à effectuer. On peut alors supposer que l'attention divisée et la répartition des ressources entre plusieurs tâches de même importance était plus impliquée dans la tâche effectuée sur ordinateur que dans la tâche sur simulateur de conduite, où les ressources pouvaient être attribuées préférentiellement à une tâche ou à une autre. De plus, la mesure enregistrée sur ordinateur était un temps de réaction (le participant devait réagir le plus rapidement possible), alors que sur simulateur il s'agissait de mesures de précision et d'adaptation (vitesse kilométrique, déviation du véhicule, nombre de franchissements de ligne). Pour résumer, en situation de double tâche, le training sur ordinateur, impliquait une consigne de rapidité qui a permis d'obtenir une amélioration des temps de réponse lors de l'évaluation sur simulateur de conduite en double tâche. En revanche, le training sur simulateur de conduite, impliquant une consigne de précision, a permis d'obtenir une amélioration générale des temps de réponse, mais pas spécifique à la double tâche. Ceci se confirme et se discute pour les personnes âgées.

Pour les **personnes âgées**, le groupe **simulateur** a diminué ses temps de réponse globaux et en simple tâche, alors que le groupe ordinateur n'a pas progressé. Les participants pouvaient se préparer à réagir dès lors où ils voyaient des véhicules en stationnement sur la voie de droite, laissant présager un éventuel danger représenté par une ouverture soudaine de portière. La diminution des temps de réponse laisse supposer que les participants âgés du groupe simulateur ont amélioré leur vitesse de traitement de l'information mais pas forcément leurs capacités d'alerte phasique. En effet, nous ne sommes pas en mesure de dire s'ils se servent mieux de l'indice visuel (les véhicules en stationnement) en post-test. Cependant, lors de l'évaluation neuropsychologique, une amélioration a été obtenue au test informatisé d'alerte phasique (TEA) pour les personnes âgées du groupe simulateur. Nous postulons alors que le bénéfice de l'entraînement de l'alerte phasique sur simulateur s'est transféré lors de l'évaluation de conduite sur simulateur. En résumé, les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite ont amélioré leur capacité à se préparer à l'action (alerte phasique) et cette amélioration s'est répercutée lors de la conduite simulée.

De manière générale, on peut penser que c'est l'aspect opérationnel qui a été amélioré au travers de cette diminution du temps de réponse global chez les participants âgés. Effectivement, selon le modèle de la conduite de Michon (1985), l'évitement d'obstacle fait partie du niveau tactique alors que la mise en œuvre de cette action fait partie du niveau opérationnel de la conduite. Ainsi, les participants ont été plus réactifs lors de la phase d'évaluation qui a fait suite au training attentionnel. Cependant, ces résultats sont en contradiction avec ceux observés par Bédard et al. (2008). Ces auteurs ont choisi d'entraîner les habiletés de conduite des personnes âgées selon le modèle de conduite de Michon. Le training utilisé était à visée fonctionnelle et permettait d'entraîner la composante stratégique, tactique et opérationnelle sur route réelle. Après analyse des résultats, ils n'ont trouvé aucune amélioration des temps de réponse lors des situations de freinages entre le pré et le post-test sur route. Ils ont conclu que le training sur route ne permettait pas d'améliorer la composante opérationnelle. Lors de notre étude une telle amélioration a pu être mise en évidence. Dans un premier temps, on peut supposer qu'un training sur simulateur est plus bénéfique qu'un training sur route pour améliorer l'aspect opérationnel de la conduite. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'entraînement lors de situations inopinées est difficilement réalisable sur route. D'autre part, nous pouvons penser que le bénéfice d'un entraînement attentionnel sur simulateur de conduite est plus facilement observable sur simulateur de conduite et pas forcément transférable en situation réelle de conduite. Cette deuxième hypothèse sera alors discutée en fonction des résultats obtenus à l'évaluation sur route de notre étude.

### **3. Comparaison des performances entre le groupe ordinateur et le groupe simulateur au test sur route**

Le bénéfice d'un entraînement peut s'observer de différentes façons. Cependant, selon Cicerone et al. (2005), un bénéfice est utile à partir du moment où il permet de réduire le handicap et pas seulement le trouble. Les recommandations de ces auteurs vont dans le sens de la CIF qui ouvre des perspectives nouvelles en prenant en considération les états et les domaines connexes de la santé. Ainsi, une personne atteinte d'un handicap n'est pas évaluée en fonction de son degré de déficience, mais de son adaptation aux différents domaines du fonctionnement contribuant à son bien-être général. Cicerone et al. (2005) recommandent alors d'évaluer l'effet du training avec des mesures fonctionnelles, d'où le choix d'avoir également une évaluation sur route dans notre étude.

Le test sur route donnait lieu à un score de conduite globale et des sous-scores élaborés par la grille TRIP, et indirectement à des scores se rapportant au modèle hiérarchique de la conduite de Michon : un score opérationnel, un score tactique et un score de compensation tactique (calculés selon les formules de De Raedt, 2000, cf. p.137).

Nous avons fait l'hypothèse que les participants ayant bénéficié d'un training sur simulateur de conduite amélioreraient plus leur performance de conduite sur route réelle que les participants entraînés sur ordinateur. Notre postulat de base étant le fait que le simulateur est un outil plus écologique qui devrait ainsi faciliter le transfert de l'apprentissage en situation de conduite réelle. **Notre hypothèse n'a pas pu être validée.**

Les **patients traumatisés crâniens** n'ont pas amélioré leur performance globale de conduite sur route entre l'évaluation pré-training et post-training, qu'ils aient bénéficié d'un entraînement sur simulateur de conduite ou sur ordinateur. En d'autres termes, le type de training n'a pas eu d'influence sur le score total de la grille d'observation TRIP. Lors de la discussion des résultats neuropsychologiques, nous avons vu que seuls les patients du groupe ordinateur avaient progressé entre le pré-test et le post-test. De plus, l'amélioration de l'efficacité attentionnelle de ces cinq patients concernait seulement deux processus : l'attention sélective et la flexibilité attentionnelle. Nous pouvons alors supposer que l'amélioration n'était pas suffisante pour pouvoir se répercuter sur la capacité globale de conduite automobile. Une autre hypothèse peut être le manque de transfert du bénéfice de l'entraînement au test sur route. En effet, nous avons pu observer une amélioration de la compétence globale de conduite sur simulateur, or nous n'observons pas ces mêmes résultats sur route réelle. Le transfert du bénéfice du training attentionnel serait donc possible au simulateur de conduite mais pas en situation plus écologique (sur route).

À l'inverse, Akinwuntan et al. (2005b) avaient montré une amélioration générale à l'évaluation sur route, et ceci pour ses deux groupes de training (un entraînement sur simulateur de conduite ou avec des jeux de société). Dans notre étude, nous notons cependant une différence entre les groupes en fonction du type de training, lorsqu'on compare les performances des différents sous-scores de l'échelle TRIP. En effet, le **groupe ordinateur** s'est amélioré sur trois sous-scores de la grille TRIP : l'adaptation de la vitesse, l'exploration visuelle et les situations particulières, alors que le **groupe simulateur** n'a montré aucune évolution. Nous avons discuté dans la première section de ce chapitre, du fait que la performance au TMT est représentative de la performance à un test de conduite sur route chez des patients avec accident vasculaire cérébral (Mazer et al., 1998). Les résultats de notre étude vont dans ce sens étant donné que seul le groupe ordinateur s'est amélioré au TMT lors de l'évaluation neuropsychologique et que seul ce groupe s'améliore au test sur route. Cette différence d'évolution des performances en faveur du groupe ordinateur, va encore une fois à l'encontre de l'étude d'Akinwuntan et al. (2005b). En effet, ces auteurs ont montré qu'un training effectué sur simulateur permettait une meilleure amélioration de la performance sur route qu'un autre type de training (jeux), ce que nous n'avons pu mettre en évidence à travers notre étude.

Une explication pourrait être le fait que dans l'étude d'Akinwuntan (2005b), les exercices effectués sur simulateur de conduite ciblaient les items analysés dans la grille TRIP, facilitant ainsi le transfert de l'apprentissage. En effet, dans le programme de training établi par ces auteurs, six exercices avaient été conçus pour entraîner spécifiquement les habiletés de conduite suivantes : le positionnement sur la route, l'adaptation de la vitesse, l'anticipation, le dépassement de voiture, les habiletés perceptives, et la perception du risque et le jugement (Devos, et al., 2009). Or, on trouve parmi les échelles de la grille TRIP, certains items faisant



référence aux six exercices du training : la position latérale sur la route (item 1), la vitesse (item 3), l'anticipation (item 7), le dépassement (item 6), l'exploration visuelle (item 4) et la communication (item 8). Nous pouvons alors supposer, que les auteurs ont construit leur programme de training en fonction de la grille d'évaluation de la conduite sur route. De ce fait, l'habileté spécifique entraînée est la même que l'habileté spécifique évaluée, permettant ainsi d'augmenter le bénéfice du training. En revanche, dans notre étude les exercices utilisés avaient une orientation purement restauratrice et visaient donc à améliorer les processus attentionnels plutôt que l'habileté de conduite. Ainsi, l'évaluation en situation réelle, mesurée à l'aide d'une grille d'observation de la conduite, n'a pas permis la réminiscence du training attentionnel.

Concernant les scores complémentaires (score opérationnel, tactique et de compensation tactique), nous n'observons pas de différence entre le groupe de patients entraînés sur simulateur ou sur ordinateur. En effet, les deux groupes présentent une tendance à améliorer leur score tactique. Devos et al. (2009) ont classifié les différents items de la grille TRIP en quatre catégories avec pour objectif de cibler d'une part la composante plus générale qui permettait d'améliorer le score de la grille et d'autre part de relier les items au modèle de la conduite de Michon (1985). Leur classification comprenait quatre catégories de comportements : opérationnel, tactique, visuo-intégratif et mixte. Dans leur étude, ils ont montré que les performances du groupe entraîné sur simulateur ne différaient pas de celles du groupe contrôle (training avec des jeux) pour les aspects tactiques de la conduite établis par la grille TRIP. Nos résultats sont donc congruents avec l'étude de Devos et al. (2009) en ce qui concerne les aspects hiérarchiques de l'activité de conduite. Autrement dit, le simulateur permettrait aussi bien d'améliorer l'aspect tactique de la conduite automobile que l'ordinateur. En revanche, dans notre étude, l'amélioration de la capacité de conduite (évaluée par la grille TRIP) chez les patients traumatisés crâniens est supérieure lorsque l'entraînement attentionnel est effectué sur ordinateur.

Pour les **personnes âgées**, le profil général est semblable à celui observé chez les patients traumatisés crâniens, mais la différence de performance entre les groupes ordinateur et simulateur est plus marquée. En effet, nous avons observé une amélioration de la performance de conduite générale (score total à la grille TRIP) pour les participants âgés entraînés sur ordinateur, contrairement à ceux entraînés sur simulateur de conduite. De plus, les sous-scores qui ont augmenté de manière significative entre le pré-test et le post-test sont au nombre de sept pour le **groupe ordinateur** : la position latérale, l'adaptation de la vitesse, le respect de la signalisation, l'anticipation, la gestion des situations particulières, les opérations mécaniques et les impressions générales de conduite ; plus deux améliorations tendanciennes concernant : l'exploration visuelle et la communication. En revanche, seul le sous-score de situations particulières a progressé pour le groupe ayant bénéficié de l'entraînement sur **simulateur** de conduite.

Les situations particulières concernent les intersections de type « tourne-à-gauche » et les insertions dans le trafic. Il n'est donc pas surprenant que le training effectué sur simulateur de conduite ait permis d'améliorer ce score étant donné que les participants âgés étaient en interaction avec la scène visuelle. En effet, ils devaient manier le volant, le levier de vitesse, les pédales. Cependant, comme cette progression a également été observée pour le groupe ordinateur, elle ne s'expliquerait donc pas par le maniement du véhicule mais plutôt par l'amélioration de l'efficacité attentionnelle observée pour le groupe ordinateur lors de l'évaluation neuropsychologique.

D'après la classification établie par Devos et al. (2009), les améliorations observées dans notre étude par le **groupe ordinateur** se situent dans les groupes faisant appel à l'aspect opérationnel de la conduite (pour l'échelle de position latérale et les opérations mécaniques),

le groupe relatif à l'aspect tactique (pour l'adaptation de la vitesse), le groupe visuo-intégratif (pour l'exploration visuelle et l'anticipation) et le groupe mixte (pour les situations particulières). Ainsi, les personnes âgées du groupe ordinateur se sont améliorées dans tous les groupes établissant la performance globale de conduite. En revanche, le **groupe simulateur** s'est amélioré seulement pour une composante du groupe mixte : les situations particulières. Ceci corrobore les conclusions établies par Devos et al. (2009) selon lesquelles un training sur simulateur permet principalement d'améliorer les situations particulières. Cependant, dans notre étude, l'entraînement sur ordinateur a également permis d'améliorer cette composante particulière. Le simulateur de conduite ne serait donc pas un moyen unique pour permettre une meilleure gestion des intersections ou autres situations routières.

Enfin, pour les scores complémentaires à la grille TRIP, seules les personnes âgées du **groupe ordinateur** ont pu améliorer significativement leur score tactique et opérationnel et de manière tendancielle leur score de compensation tactique. Si on se réfère au niveau tactique du modèle de la conduite de Michon (1985), cela signifie que les personnes âgées du groupe ordinateur se sont améliorées pour prendre des décisions dans le trafic réel. Elles ont par exemple mieux géré l'adaptation de la vitesse de leur véhicule en fonction de l'environnement routier (signalisation et trafic), ou bien opté pour un choix de distance inter-véhicules plus pertinent en post-test comparé au pré-test. Selon Lundqvist (2001b), le niveau tactique fait appel à l'attention sélective et la vitesse de traitement de l'information. Or, lors de l'évaluation neuropsychologique, nous avons justement pu observer une amélioration de ces deux processus cognitifs spécifiques pour le groupe ordinateur. L'amélioration du score tactique ferait donc écho avec les résultats observés aux tests neuropsychologiques.

Le niveau opérationnel de la conduite automobile réfère à la prise de décision immédiate d'une action, par exemple lors de l'évitement d'un danger soudain. L'amélioration de l'aspect opérationnel de la conduite s'était déjà observée lors de l'évaluation sur simulateur mais chez le groupe simulateur. Lors de la section de chapitre sur l'évolution des résultats des personnes âgées à l'évaluation sur simulateur de conduite (p.229), nous avons discuté de l'amélioration observée à la tâche d'ouverture de portières pour le groupe simulateur. Nous avons formulé deux hypothèses : soit une amélioration du processus d'alerte phasique, soit une amélioration de l'aspect opérationnel de la conduite. Au vu des résultats de l'évaluation sur route (pas d'amélioration du groupe simulateur), nous sommes plutôt en faveur d'une progression des capacités d'alerte phasique (lors de l'évaluation sur simulateur) pour le groupe simulateur. Néanmoins, nous ne pouvons complètement écarter cette deuxième hypothèse (amélioration de l'aspect opérationnel), dans la mesure où il est possible qu'il s'agisse tout simplement d'un manque de transfert entre le simulateur et l'évaluation sur route réelle. Nous pouvons maintenant supposer que le bénéfice observé sur simulateur de conduite ne s'est pas transféré en situation de vie quotidienne (test sur route). Un training sur simulateur ne permettrait donc pas d'améliorer le niveau opérationnel de la conduite. Cette observation ne nous permet pas de valider notre hypothèse selon laquelle le simulateur de conduite est un outil plus pertinent pour améliorer le niveau opérationnel de la conduite contrairement à un training sur route (comme réalisé par Bédard, et al., 2008). Ainsi, nous sommes plutôt en faveur de l'hypothèse selon laquelle le bénéfice observé sur simulateur n'est pas transférable en situation réelle de conduite.

Pour résumer, seul le training attentionnel sur ordinateur aura permis d'améliorer les performances de conduite sur route réelle chez les personnes âgées.

Les résultats obtenus à la fois chez les personnes âgées et les patients traumatisés crâniens ne nous permettent pas de valider notre hypothèse principale, à savoir : un entraînement avec un simulateur de conduite permettrait d'obtenir un meilleur bénéfice que

tout autre type de training. Au contraire, c'est le profil inverse qui a été observé : une amélioration plus importante pour le groupe ordinateur. Nous pouvons ainsi nous interroger d'une part sur le fait que le programme d'entraînement réalisé sur simulateur n'a pas permis d'améliorer les performances générales de conduite sur route et d'autre part sur le fait que l'ordinateur a permis un meilleur transfert de l'apprentissage sur route réelle.

Le training sur simulateur de conduite a permis d'améliorer certaines performances attentionnelles lors de l'évaluation neuropsychologique, mais n'a pas permis d'observer les changements attendus en situation de vie quotidienne (test sur route). Comment expliquer ce manque de transfert en situation réelle de conduite ? Pendant la période d'entraînement, les mêmes exercices étaient reproduits d'une session à une autre, sur simulateur de conduite ou sur ordinateur. Cependant, la similarité entre les sessions était bien plus importante sur simulateur que sur ordinateur. En effet, même si nous avons fait en sorte de faire varier la localisation des stimuli, l'intervalle inter-stimuli, ou de changer le décor de l'environnement routier (paysages, voiture), le déroulement des tâches restait relativement proche au niveau de l'activation de schémas de programmation. Ces schémas sont des représentations abstraites de séquences d'actions bien apprises et indépendantes de la session de training à laquelle ces séquences peuvent s'appliquer. Ainsi, les participants ont pu disposer d'un schéma d'actions pour la tâche d'alerte phasique, de vigilance, d'attention sélective et d'attention divisée, qui s'est généralisé à toutes les sessions du programme de d'entraînement. De plus, lors du training sur simulateur, il n'y avait pas d'augmentation de la difficulté en fonction du niveau de performance atteint. De ce fait, nous postulons que cette activation de schémas a pu créer une familiarisation avec la tâche (Couillet, 2002). Ainsi, on n'observe plus d'effet de nouveauté. Les quatre tâches présentées à chaque session deviennent « routinières » et sont donc probablement de moins en moins coûteuses en termes d'attention. En effet, selon Norman et Shallice (1986), dans les situations routinières, le comportement est contrôlé par le gestionnaire de conflit qui un système relativement automatique. L'automatisation du contrôle de l'action réfère à l'apprentissage antérieur et par conséquent nécessite peu de ressources attentionnelles (la tâche a un coût faible). La conduite sur route représente quant à elle une situation bien plus complexe, qui mobilise beaucoup d'attention et qui de ce fait s'éloigne considérablement des schémas proposés durant les séances de training. Dans cette tâche de conduite réelle, le participant n'a alors pas pu mettre en action le schéma sur-appris lors de l'entraînement attentionnel, ce qui explique des performances à l'évaluation post-training pratiquement identiques à celles observées en pré-training pour le groupe simulateur. Ce ne sont pas les mêmes scènes qui se rejouent lors de la conduite sur route, il n'y a donc pas d'automatisation et l'activité reste très coûteuse en terme d'attention. Cependant, si cette hypothèse est vraie, pourquoi on ne trouve pas des résultats semblables pour le training ordinateur ? En effet, pour le deuxième type de training, les tâches utilisées étaient là encore les mêmes d'une séance à une autre, donc certainement de moins en moins coûteuse en attention et pourtant nous avons pu observer un transfert du bénéfice lors de la conduite sur route réelle. Une différence importante entre les deux entraînements cognitifs proposés, concerne la progression du niveau de difficulté. Les exercices réalisés pendant le training sur simulateur de conduite n'augmentaient pas de difficultés d'une séance à l'autre, contrairement au training sur ordinateur qui s'adaptait aux performances des participants. Nous pouvons alors supposer que le training sur ordinateur paraissait moins rébarbatif et que les schémas d'action mis en place variaient d'une séance à une autre. Ainsi, le mécanisme d'automatisation n'aurait pas pu se mettre en place, ou à moindre mesure, contrairement à l'entraînement sur simulateur de conduite. Les participants entraînés sur ordinateur auraient alors amélioré leur efficacité attentionnelle dans des exercices variés, permettant un meilleur transfert de l'apprentissage sur route. En effet, la variété mobilise davantage l'attention dans la mesure où cela engendre la mise en jeu du Système Attentionnel Superviseur (SAS ;

Norman & Shallice, 1986). Ces auteurs proposent la théorie du double contrôle de l'action selon laquelle le contrôle de l'action peut considérablement varier selon les exigences cognitives des tâches. Les auteurs suggèrent que dans des situations non familières ou impliquant de nouveaux stimuli, le SAS intervient et prend le relais du gestionnaire de conflit. Le SAS met en jeu les processus contrôlés, contrairement au gestionnaire de conflit qui fonctionne de manière automatique. De ce fait, la diversité des situations proposées sur ordinateur implique la mise en jeu du SAS et requiert alors plus de ressources attentionnelles. Par conséquent, l'effet de « routine » est à mettre en lien avec les notions de contrôle attentionnel et d'automatisation des processus. Selon Shiffrin et Schneider (1977), les processus contrôlés s'opposent aux processus automatiques dans la mesure où ces derniers sont bien plus impliqués dans les activités de vie quotidienne. Nous supposons alors, que les exercices effectués sur simulateur ont été pris en charge majoritairement par des processus automatiques parce qu'ils étaient très similaires d'une session à une autre. Par conséquent, un entraînement attentionnel ne fonctionnerait pas sur les processus automatiques et la stimulation attentionnelle doit obliger le participant à rester sur un mode contrôlé pour être bénéfique (comme sur l'ordinateur). De plus, il n'est pas rare d'observer un déficit du SAS après un traumatisme crânien sévère (Van Zomeren, 1995), alors que les processus automatiques seraient préservés. Il n'est donc pas surprenant qu'un entraînement (sur ordinateur) mettant en jeu et stimulant un processus déficitaire (le SAS) soit plus bénéfique qu'un entraînement (sur simulateur) nécessitant la résolution automatique de conflit. Ainsi, les exercices développés sur simulateur de conduite ne solliciteraient pas assez le contrôle attentionnel volontaire. Cette considération méthodologique est à prendre en considération pour les recherches futures sur simulateur de conduite.

Une autre hypothèse explicative peut concerner le lien entre simulation et activités de vie quotidienne. Selon Juillerat van Der Linden (2008), les outils d'évaluation à base de simulation doivent répondre à un double critère de validité écologique et de mise en perspective théorique, pour permettre de formuler des hypothèses quant aux processus déficitaires. Cependant, l'activité de conduite ne se limite pas à un domaine particulier, elle implique l'attention, les fonctions exécutives, la mémoire, etc. ; et surtout d'autres facteurs (non cognitifs) qui entrent en jeu dans les activités de vie quotidienne, en particulier les facteurs émotionnels et motivationnels. Selon cet auteur, la simulation d'une activité de vie quotidienne doit alors permettre de stimuler les deux versants : les facteurs cognitifs et les facteurs motivationnels ou émotionnels. À partir de ce constat, nous avons introduit dans notre programme d'entraînement un feedback sur les performances des participants. L'idée consistait ici à leur faire prendre conscience de leurs propres difficultés et permettait ainsi d'agir sur leur motivation. Le feedback a été utilisé pour les deux trainings, mais de manière différente. En effet, le groupe ordinateur a bénéficié d'un feedback plus développé que le groupe simulateur étant donné qu'il était généré automatiquement par le logiciel CogniPlus®. En effet, il était plus détaillé puisque après chaque séance le participant pouvait visualiser, sous forme de graphique, les temps de réponse et les erreurs pour chaque tâche. En revanche, pour le groupe simulateur, le feedback était verbal et beaucoup moins spécifique. Il était effectué par l'expérimentateur qui en fin de séance ne disposait pas immédiatement des résultats de l'entraînement. Les données devaient être traitées a posteriori et ne pouvaient faire l'objet d'un retour verbal qu'à la séance suivante. Nous pouvons ainsi penser, que le feedback proposé lors de l'entraînement sur ordinateur est plus pertinent pour la prise de conscience des difficultés et plus motivant que le feedback proposé après entraînement sur simulateur, contribuant ainsi à l'amélioration des performances en général.

Nos résultats sont finalement cohérents avec certaines données récentes de la littérature qui statuent sur le fait que le simulateur de conduite est de plus en plus utilisé pour

le training en vue d'une réhabilitation, mais que finalement les preuves des bénéfices observés sur route, sont peu nombreuses (Lew, Rosen, Thomander, & Poole, 2009). À l'exception de l'équipe d'Akinwuntan (Akinwuntan, et al., 2005b; Devos, et al., In Press; Devos, et al., 2009), peu d'études ont permis de montrer un effet bénéfique d'un training sur simulateur, en situation réelle de conduite. Cependant, comme nous avons pu le souligner précédemment, leur entraînement sur simulateur portait essentiellement sur les habiletés de conduite (approche fonctionnelle) et non pas sur des processus cognitifs spécifiques (comme nous l'avons fait dans notre étude suivant une approche restauratrice). Il semblerait donc qu'un simulateur peut être bénéfique seulement si on l'utilise pour un training à visée fonctionnelle plutôt que restauratrice. Ainsi, nous pouvons rejoindre l'hypothèse de ces auteurs (Akinwuntan, et al., 2005b; Devos, et al., 2009), qui suggèrent qu'une rééducation de la conduite automobile doit cibler directement les habiletés fonctionnelles et non pas les composantes cognitives.

Pour conclure sur la comparaison des deux méthodes d'entraînement utilisées (simulateur vs ordinateur), nous pouvons dire que chacune a permis d'obtenir un effet bénéfique, mais auprès de mesures différentes :

- L'amélioration aux tests neuropsychologiques était semblable pour le groupe ordinateur et simulateur chez les personnes âgées. En revanche, elle était uniquement présente pour le groupe entraîné sur ordinateur chez les patients traumatisés crâniens.
- Seule l'évaluation sur simulateur de conduite a permis d'observer une amélioration des performances plus importante pour le groupe entraîné sur simulateur (concept d'« effet de la pratique »). Cependant, le groupe ordinateur s'est lui aussi amélioré.
- Enfin, l'amélioration observée lors de l'évaluation sur route était plus importante pour le groupe entraîné sur ordinateur, que ce soit chez les personnes âgées ou les patients traumatisés crâniens.

Les résultats sont tout de même en faveur de l'entraînement sur ordinateur qui permet aux participants d'améliorer leurs performances aux tests neuropsychologiques, à l'évaluation sur simulateur de conduite et à l'évaluation sur route. Le bénéfice de l'entraînement s'observe donc dans les trois mesures proposées, contrairement au training simulateur qui permet principalement d'améliorer les performances lors de l'évaluation sur simulateur.

## II. DISCUSSION SUR L'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES AU COURS DU TRAINING

Cette partie porte sur l'évolution des performances, d'une session de training à une autre, au cours des trois semaines d'entraînement.

La méthodologie du cas unique a été un moteur puissant, dans un domaine où les études de grands groupes de patients sont difficiles à mener. Partant de ce constat, nous avons décidé d'analyser la progression des performances des patients traumatisés crâniens au cours des différentes sessions de training au cas par cas. Notre hypothèse de départ était que chaque patient allait s'améliorer d'une séance à une autre, quel que soit le training utilisé.

Le fait que le training sur simulateur n'est pas permis d'obtenir les résultats escomptés, à savoir une amélioration globale de la performance de conduite sur route (mesurée par la grille TRIP), ne permet pas pour autant de conclure que le training n'a pas fonctionné. En effet, « l'effet du training » peut se mesurer de plusieurs façons : par une comparaison des performances entre un pré-test et un post-test, ou grâce à une étude de cas permettant d'observer la performance des patients au cours de chaque session afin d'objectiver une éventuelle progression. Cassavaugh et Kramer (2009) ont utilisé cette dernière méthode pour mesurer l'effet d'un training attentionnel informatisé sur huit sessions effectuées, ce qui leur a permis de mesurer les facteurs les plus prédictifs de la compétence de conduite sur simulateur de conduite. Nous avons ainsi choisi une ou plusieurs mesures dépendantes, qui nous ont servi de ligne de base lors de la première session de training. Par exemple, pour le training de l'attention divisée, la baseline était multiple puisqu'elle comprenait le nombre de franchissements de ligne, la déviation standard du véhicule, la vitesse kilométrique et l'écart-type de la vitesse. Nous avons conclu que le training était efficace à partir du moment où nous avons pu observer une diminution significative entre les sessions du nombre de franchissements de ligne ou de la déviation du véhicule, lors de la condition de double tâche (tâche de calcul mental), suggérant une meilleure maîtrise de la trajectoire en situation d'attention divisée. Pour la vigilance, nous nous attendions à une diminution de l'écart-type, pour l'alerte phasique à une diminution des TR en condition avec avertisseur, et enfin pour l'attention sélective, à une diminution du nombre d'erreurs.

Lors de la **tâche d'alerte phasique** sur **simulateur** de conduite, les participants devaient réagir à un stimulus en appuyant le plus rapidement possible sur la pédale de frein, dans deux conditions expérimentales, avec ou sans avertisseur visuel (triangle rouge). Nous avons considéré que les patients s'étaient améliorés à partir du moment où il y avait une diminution des temps de réponse seulement dans la condition avec avertisseur, suggérant une meilleure utilisation du stimulus d'alerte. Dès le début du programme, nous avons pu observer une différence entre les temps de réponse avec avertisseur et les temps de réponse sans avertisseur, en faveur de la condition avec alerte pour les cinq patients traumatisés crâniens. Autrement dit, les patients se servaient du stimulus avertisseur dès la première session d'entraînement. Siéroff (1994) a montré que les signaux avertisseurs de type auditif ou kinesthésique ont un effet facilitateur plus marqué que les signaux visuels, or nous avons montré un effet de facilitation d'un stimulus avertisseur visuel (triangle rouge). De ce fait, nous pouvons penser que cet effet est robuste étant donné qu'il ressort de manière significative dans notre étude, même lorsque le sens alerté n'est pas forcément le plus réceptif (visuel versus auditif). Ceci peut être mis en lien avec le concept d'intégration multisensorielle, qui est la capacité qu'a le système cognitif à intégrer des informations venues de différents récepteurs sensoriels en une représentation unifiée. L'intégration

multisensorielle permet de prédire au mieux une entrée sensorielle à partir d'une autre. Ce qui laisse penser qu'un avertisseur auditif aurait été encore plus efficace pour détecter le stimulus visuel (l'obstacle).

En ce qui concerne l'évolution des performances au cours du training, nous n'avons pas pu observer d'amélioration pour aucun des cinq patients. Les temps de réponse sont restés relativement stables au cours des différentes sessions d'entraînement, et ceci pour les deux conditions expérimentales. Nous pouvons en conclure que l'alerte phasique est préservée chez ces cinq patients et qu'ils ont su se préparer à l'action aussi bien lors de la première que de la dernière session de training. Pourtant, chez des patients avec pathologie frontale, il n'est pas rare de constater que l'introduction d'un signal avertisseur provoque au contraire un allongement des temps de réponse, le signal avertisseur faisant alors office d'élément distracteur qui perturbe l'efficacité attentionnelle (Leclercq & Zimmermann, 2000). Dans notre étude, il est arrivé que quelques patients ne puissent s'empêcher de réagir à l'apparition du signal avertisseur, s'avérant incapables d'inhiber cette réponse motrice. Cependant, ceci est arrivé sur très peu d'essais et surtout lors de la première session de training, s'estompant ensuite au fur et à mesure de l'avancée du programme. Ceci peut refléter une amélioration de l'attention sélective dans la mesure où les patients ont inhibé une réponse automatique motrice (freiner au moment de l'avertisseur) parce qu'elle n'était pas pertinente pour la tâche en cours.

Concernant le training sur **ordinateur**, la mesure principale était le changement du niveau de difficulté. Ce changement de niveau reflétait une amélioration des performances du patient, étant donné qu'il s'opérait de manière automatique à partir du moment où le participant était plus rapide ou faisait moins d'erreur. Pour les cinq patients entraînés sur ordinateur, on observe une augmentation des niveaux de difficulté assez générale et progressive au cours du programme. Ceci laisse suggérer une amélioration de la vitesse de traitement de l'information et non de l'alerte phasique. En effet, les temps de réponse générés par le logiciel ne permettaient pas de différencier les essais avec ou sans avertisseur et regroupaient ces deux conditions de manière indifférenciée.

Pour résumer, nous ne sommes pas en mesure de statuer sur le fait que les patients aient amélioré leur capacité d'alerte phasique, cependant ce processus était déjà efficace au début de training, ne nécessitant pas forcément de rééducation. Ces résultats sont congruents avec ceux observés lors de l'évaluation neuropsychologique lors de laquelle les performances au sub-test informatisé d'alerte phasique sont dans les normes.

La **tâche de vigilance** sur **simulateur** de conduite consistait à réagir à un stimulus intervenant à une fréquence très faible et de manière difficilement perceptible : l'éclairage des feux arrière de la voiture qui précédait celle du participant. Deux mesures ont été enregistrées, les temps de réponse et l'écart-type au cours des dix minutes de l'exercice. Nous avons considéré que les patients amélioreraient leur capacité de vigilance à partir du moment où l'écart-type, donc la variabilité des temps de réponse, diminuait d'une séance à une autre, suggérant une homogénéisation des temps de réponse. Une diminution des temps de réponse permettra simplement de conclure à une amélioration de la vitesse de traitement de l'information. Parmi les cinq patients entraînés sur simulateur, un seul patient n'a pas éprouvé de difficulté dans cette tâche (faible écart-type dès la première session de training), suggérant une préservation de sa capacité de vigilance. Trois des quatre patients restants ont vu leur vigilance s'améliorer au cours du programme d'entraînement et l'un d'entre eux à même amélioré sa vitesse de traitement de l'information en répondant plus rapidement lors de la deuxième partie du programme. Nous pouvons conclure que l'exercice d'entraînement de la vigilance est bénéfique auprès des patients traumatisés crâniens. La diminution de l'écart-type permet de vérifier l'hypothèse selon laquelle il est possible de réduire la vigilance même

sur de courtes durées (Nuechterlein, et al., 1983; Parasuraman, et al., 1998). En revanche, ceci n'a pu s'objectiver lors de l'évaluation neuropsychologique effectuée en post-training, alors que leurs performances étaient déficitaires en pré-training.

Concernant la tâche de vigilance exécutée sur **ordinateur**, elle permettait simplement de recueillir les temps de réponse des participants et les résultats n'ont montré aucune amélioration de cette mesure. Ceci dit, lors du training de la vigilance sur simulateur de conduite, c'est grâce à la mesure de l'écart-type que nous avons pu objectiver la progression de la capacité de vigilance. Ainsi, il nous est impossible d'établir la moindre conclusion en rapport avec la vigilance pour le groupe ordinateur, seule l'amélioration de la vitesse de traitement peut être écartée étant donné que les patients ne sont pas plus rapides pour réagir d'une session à une autre.

Pour résumer, il est difficile d'observer le bénéfice de l'entraînement de la vigilance. D'une part, parce que seule une tâche dans l'évaluation neuropsychologique la met en jeu, et d'autre part, parce qu'on ne peut pas l'isoler dans la tâche de conduite sur simulateur (pas de sous-score spécifique de vigilance).

La **tâche d'attention sélective** est la seule pour laquelle très peu d'évolutions ont été observées durant les neuf sessions sur **simulateur** de conduite. Il est probable que la variable utilisée au cours de cet exercice sur simulateur ait été mal choisie, ne permettant pas d'objectiver d'amélioration. Ceci ne signifie pas pour autant que les patients n'ont pas progressé. En effet, lors de l'entraînement, les données enregistrées pour évaluer les capacités de sélection attentionnelle, étaient exprimées en nombre d'erreurs. Cette analyse réalisée sur une variable discrète doit donc être interprétée avec minutie. En effet, si les différences ne ressortent pas de manière statistiquement significative, ceci peut être dû au faible taux d'erreurs global obtenu par les patients. Cependant, les résultats obtenus à l'évaluation neuropsychologique vont à l'encontre de cette hypothèse selon laquelle le défaut d'amélioration durant le training dépend de la mesure et non de la capacité d'attention sélective. En effet, le groupe simulateur ne s'est amélioré sur aucun test lors de l'évaluation neuropsychologique. L'absence d'amélioration du groupe simulateur pour le processus d'attention sélective lors de l'évaluation post-training, s'expliquerait donc par le fait que le training sur simulateur n'a pas été efficace en ce qui concerne ce processus attentionnel.

Le même profil a été observé lors du training sur **ordinateur**, ce qui s'est traduit par une stagnation du niveau de difficulté. Dans le chapitre résultats et la section spécifique des analyses individuelles, nous avons interprété ces résultats comme un « effet plafond ». En d'autres termes, si les patients entraînés sur ordinateur ne se sont pas améliorés c'est parce qu'ils ont atteint un niveau qui fait office de seuil, et qui est difficilement surmontable. En effet, lors de l'exercice sur ordinateur portant sur l'attention sélective, aucun patient n'a pu atteindre un niveau supérieur au deuxième. Il semblerait donc que le niveau de difficulté de la tâche proposée soit complexe dès les premiers niveaux, ne permettant pas d'amélioration progressive au cours des différentes sessions de training. Cependant, le training sur ordinateur a tout de même été bénéfique puisqu'il a permis un transfert de l'apprentissage à l'évaluation neuropsychologique. En effet, les patients du groupe ordinateur ont amélioré leur capacité à sélectionner l'information pertinente lors de l'évaluation neuropsychologique (test de Mesulam désorganisé).

Pour résumer, l'attention sélective n'a pas été améliorée par le training simulateur, probablement du fait d'un effet plancher (tâche trop simple), ni par le training ordinateur, du fait d'un effet plafond (tâche complexe).

Pour la tâche d'entraînement sur **simulateur** ciblant **l'attention divisée**, nous observons un profil inverse à celui de l'attention sélective. Autrement dit, aucune



amélioration n'a pu être objectivée lors de l'évaluation neuropsychologique post-training, alors que la progression des performances s'observe d'une session d'entraînement à une autre. Dans un premier temps, nous avons pu mettre en évidence le fait que la double tâche influence les performances des patients traumatisés crâniens. En effet, la plupart d'entre eux obtenaient de moins bonnes performances lors de la tâche de conduite avec calcul mental comparée à la tâche de conduite seule. Pour rappel, la tâche consistait à maintenir la trajectoire du véhicule la plus droite possible, en évitant de franchir les lignes blanches qui bordent la route. Les performances étaient donc considérées comme altérées par la double tâche lorsqu'on observait une augmentation de la vitesse kilométrique, une augmentation du nombre de franchissement de lignes, une déviation plus importante du véhicule ou une variabilité plus importante de la vitesse kilométrique en double tâche. Les mesures impactées par l'ajout d'une tâche secondaire différaient en fonction des patients. Néanmoins, pour trois d'entre eux, la double tâche a eu pour effet d'augmenter l'allure à laquelle ils roulaient. Ces résultats ne sont pas surprenants. En effet, dans une étude pilote réalisée auprès de trois patients traumatisés crâniens, Lengenfelder et al. (2002) avaient déjà montré de tels résultats : les patients traumatisés crâniens roulent plus vite lorsqu'ils sont dans une situation d'attention divisée. En ce qui concerne l'évolution des performances au cours du training, les cinq patients se sont tous améliorés sur au moins une variable considérée au cours du training de l'attention divisée. Néanmoins, cela ne s'est pas répercuté dans les tâches neuropsychologiques, ni lors de l'évaluation sur simulateur de conduite impliquant une double tâche (conversation avec l'expérimentateur).

Pour le groupe entraîné sur **ordinateur**, on note une belle progression du niveau de difficulté de quatre patients sur cinq. Certains patients entraînés sur ordinateur ont même gravi huit niveaux entre la première session et la dernière session de training. L'évaluation neuropsychologique n'a cependant pas permis de vérifier l'amélioration de ce processus attentionnel, ceci dit, seul un test permettait de mesurer l'attention divisée parmi les tests utilisés. Enfin, on observe un transfert du bénéfice du training réalisé sur ordinateur lors de l'évaluation sur simulateur de conduite. En effet, les patients du groupe ordinateur ont amélioré leurs performances en double tâche sur simulateur (lors de la conversation avec l'expérimentateur).

En résumé, nous postulons que l'amélioration observée durant le training sur simulateur est attribuable à l'acquisition d'une habileté spécifique : le maintien de la trajectoire du véhicule et non à l'amélioration du processus d'attention divisée. Ce qui permettrait d'expliquer pourquoi il n'y a pas eu de répercussion lors de l'évaluation neuropsychologique ou sur simulateur. En revanche, le training sur ordinateur aurait permis d'améliorer la capacité à partager son attention entre plusieurs tâches, et se serait transférer sur simulateur de conduite. Nous postulons que cette différence est due au fait que le training sur ordinateur requiert plus de contrôle attentionnel, alors que le training sur simulateur est plus automatisé. Un entraînement qui nécessite la mise en jeu des processus attentionnels contrôlés serait alors plus bénéfique que celui mettant en jeu des processus attentionnels automatisés. Ces derniers sont en effet, beaucoup mieux préservés au cours du vieillissement normal et chez les patients traumatisés crâniens (Van Zomeren, 1995).

Pour conclure, cette analyse individuelle des performances au cours du training renforce l'idée selon laquelle chaque processus attentionnel doit être rééduqué de manière indépendante (Sturm, et al., 1997). En effet, les dix patients avaient un pattern de troubles attentionnels différent et l'amélioration des performances varie en fonction du processus attentionnel considéré.

Au cours de l'entraînement, le groupe simulateur s'est principalement amélioré aux tâches de vigilance et d'attention divisée, néanmoins sans aucune répercussion lors de l'évaluation neuropsychologique ou sur simulateur de conduite.

Pour le groupe ordinateur, on observe une amélioration aux tâches d'alerte mais pas de répercussion lors de l'évaluation post-training et une amélioration de l'attention divisée se répercutant sur simulateur.

Le training sur ordinateur semble donc plus bénéfique.

### III. CRITIQUES MÉTHODOLOGIQUES

Dans notre travail, nous nous sommes efforcés de fonder nos choix méthodologiques sur des concepts théoriques, nous parlions de « méthodologie comme théorie » (Whyte, et al., 2003). De ce fait, nous avons décidé de discuter dans cette section de chapitre, du bon fondement de certaines orientations méthodologiques.

Le choix du simulateur de conduite dans un contexte d'entraînement à visée restauratrice et non à visée fonctionnelle était justifié par le fait de combiner les deux approches. En effet, même si dans notre étude l'habileté spécifique de conduite n'est pas entraînée, l'outil utilisé se réfère directement à la pratique de l'activité de conduite. Autrement dit, nous avons développé un training avec une base restauratrice (exercice portant sur les processus attentionnels) mais avec un fond plus fonctionnel (exercice à réaliser pendant la conduite sur un simulateur). Notre étude a permis de montrer qu'une telle approche ne permet pas d'observer les résultats attendus en situation réelle de conduite. Nous pensons que le fait de réaliser un training attentionnel en situation de conduite, dans un habitacle de véhicule, constituerait une valeur ajoutée pour une rééducation visant l'amélioration de la sécurité de conduite. Ceci n'a pas pu être vérifié.

Par ailleurs, la combinaison des deux approches (restauratrice et fonctionnelle) dans notre étude a permis d'obtenir des résultats semblables aux études à visée purement restauratrice. En effet, les études ayant opté pour un training des habiletés cognitives, donc à visée restauratrice, n'ont pas permis d'obtenir des résultats convaincants au niveau du transfert des bénéfices en situation réelle de conduite (Crotty & George, 2009; Mazer, et al., 2003; Roenker, et al., 2003). En revanche, les études fondées sur un training des habiletés de conduite, donc à visée fonctionnelle, ont montré de réels bénéfices de la rééducation, que ce soit avec un simulateur de conduite (Akinwuntan, et al., 2005b; Devos, et al., 2009; Roenker, et al., 2003) ou un autre type de rééducation (physique, intervention éducationnelle...). Toutes ces études avaient pour objectif de cibler l'habileté fonctionnelle et non la composante cognitive (apprendre à doubler, améliorer la prise en considération des panneaux de la signalisation ou encore remettre à niveau la connaissance des règles routières).

Pour conclure, nous pensons que le bénéfice d'un training attentionnel ne peut se transposer dans une situation réelle de conduite que s'il comprend une dimension fonctionnelle. De plus, cette dimension fonctionnelle ne doit pas se limiter à l'utilisation d'un outil proche d'un vrai véhicule, il doit s'agir d'une dimension rééducative faisant partie intégrante du training. Ainsi, nous rejoignons l'hypothèse selon laquelle un entraînement visant l'amélioration de la sécurité en conduite doit se focaliser sur le training direct des habiletés fonctionnelles plutôt que sur les composantes cognitives (Akinwuntan, et al., 2005b; Mazer, et al., 2003). Nous postulons également que, comme dans l'étude de Akinwuntan et al. (2005b), la stimulation des processus attentionnels au travers d'un training des habiletés de conduite, sera encore plus favorable. Pour résumer, notre choix méthodologique, consistant à combiner deux approches, ne nous semble pas remis en cause. Néanmoins, le choix de l'approche principale est primordial. Dans notre étude, nous avons choisi l'approche restauratrice comme approche principale et l'approche fonctionnelle comme dimension secondaire, et nous n'avons pas pu observer de bénéfice sur route. À l'inverse, Akinwuntan et al. (2005b) ont utilisé la même combinaison, mais avec l'approche fonctionnelle comme dimension principale ; et ont pu observer des bénéfices à un test sur route réelle. Ainsi, une approche fonctionnelle semble plus pertinente lors d'un entraînement sur simulateur de conduite.

Si nous considérons les résultats de notre étude dans le cadre du modèle de conduite de Brouwer (2002b), selon lequel l'activité de conduite implique un savoir-faire, une aptitude

et un comportement ; alors nous pouvons en déduire que notre training a permis de rééduquer l'aptitude à la conduite. À l'inverse, les études qui ont obtenu un bénéfice sur route ont principalement rééduqué le savoir faire, en plus de l'aptitude ou du comportement. Ainsi, nous pouvons formuler l'hypothèse selon laquelle, une rééducation ne peut être optimale que si elle adopte une approche qui prend en compte plus d'un domaine sur les trois proposés dans le modèle de la conduite de Brouwer. Or, notre approche ne s'intéressait qu'à l'amélioration de l'aptitude à la conduite, sans prendre en considération le savoir-faire et le comportement.

Concernant le choix du modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994) comme cadre théorique de l'attention, il semble être pertinent pour l'activité de conduite automobile. En effet, le choix des processus attentionnels entraînés a permis d'obtenir des améliorations à la fois chez les personnes âgées et les patients traumatisés crâniens. Les processus entraînés ont permis d'améliorer les performances aux tests neuropsychologiques, sur simulateur de conduite ou sur route réelle. Ceci nous laisse penser que les processus attentionnels ciblés sont bien ceux particulièrement impliqués en conduite et pertinents pour cette activité.

Bien que l'utilisation du simulateur de conduite ne nous ait pas permis d'obtenir les bénéfices escomptés, un tel usage n'est pas pour autant remis en cause dans l'objectif d'une conduite plus sécuritaire. En revanche, l'approche choisie dans notre étude (restauratrice) est critiquable. En effet, au vu des données de la littérature, pour être efficace, une approche restauratrice sur simulateur de conduite se soit d'être couplée à un entraînement des habiletés spécifiques de la conduite (approche fonctionnelle). De plus, il semblerait que pour obtenir un bénéfice et un transfert de l'apprentissage une approche restauratrice doit faire appel aux processus contrôlés (comme lors du training ordinateur de notre étude).

Un patient traumatisé crânien était susceptible de participer à cette étude à partir du moment où l'équipe médicale se posait la question de la reprise de la conduite automobile. Ainsi, la distance entre le moment du traumatisme et la réalisation de l'étude ne constituait pas un critère de sélection et variait donc considérablement d'un patient à un autre. En effet cette distance pouvait s'étendre de 1 à 106 mois. De même, au moment de l'étude, certains patients étaient encore hospitalisés mais avaient récupéré très rapidement, alors que d'autres étaient sortis de l'hôpital depuis des années mais n'étaient pas encore assez autonomes en vie quotidienne pour que la question de la reprise de la conduite puisse se poser. Aucune limite n'était fixée quant à cette durée post-traumatisme. Les patients traumatisés crâniens étaient dirigés vers un training ou un autre, de manière aléatoire, et c'est seulement à la fin de l'expérimentation que nous avons pu moyenniser cette distance en fonction des groupes. Il s'est alors avéré que la distance du traumatisme était bien plus importante pour le groupe simulateur. En d'autres termes, les patients ayant bénéficié du training sur simulateur ont été inclus bien plus longtemps après leur traumatisme comparé aux patients entraînés sur ordinateur. Le profil d'amélioration générale observée entre le pré-test et le post-test était plutôt en faveur du groupe ordinateur, qui a montré une progression dans un plus grand nombre de mesures que le groupe simulateur. Nous avons discuté ces résultats en évoquant la possibilité que la distance du traumatisme ait joué un rôle dans les résultats observés. En effet, la plasticité cérébrale mettant en jeu une réorganisation des réseaux neuronaux post-lésionnelle s'opère essentiellement dans les quelques mois qui suivent la lésion. Il est ainsi reconnu que plus le patient est à distance de sa lésion (du traumatisme), plus il est difficile de rééduquer les processus cognitifs déficitaires. De plus, nous pensons que plus le patient est à distance du traumatisme, plus le transfert de l'apprentissage est difficile en situation de vie quotidienne. Effectivement, au vu des résultats obtenus dans notre étude, montrant un transfert de l'apprentissage pour le groupe ordinateur plus important que pour le groupe simulateur, nous sommes en mesure de nous demander si ce n'est pas à mettre en lien avec la

distance du traumatisme, plus importante pour le groupe simulateur. Ainsi, les patients à distance du traumatisme bénéficieraient moins bien de l'entraînement attentionnel et la mise en jeu de la transférabilité des acquis serait plus difficile.

Par conséquent, pour éviter un biais supplémentaire dans l'étude des patients traumatisés crâniens, il serait préférable de contrôler la distance entre le traumatisme et l'expérimentation. La période la plus propice à la rééducation serait de deux à cinq mois après le traumatisme crânien (Christensen, et al., 2008). Cependant, selon les auteurs, l'attention fait partie des processus cognitifs les plus lents à récupérer. De ce fait, le training attentionnel se doit d'être un plus long que pour un autre processus cognitif. Les auteurs montrent une amélioration plus importante durant la première année qui suit le traumatisme, amélioration qui diminue ensuite au cours du temps. De plus, pour éviter toute confusion avec la récupération spontanée, qui a surtout lieu durant la phase aiguë du traumatisme (Belin, 1999), les patients devraient être inclus seulement à partir du deuxième mois qui suit le traumatisme crânien. La récupération spontanée est plus conséquente durant ces deux premiers mois, ainsi, les progrès dépendent ensuite de la prise en charge et de la stimulation externe. Pour résumer, il serait intéressant de mettre en place un programme de rééducation lorsque la distance du traumatisme se situe entre deux et douze mois étant donné que les patients sont très réceptifs pendant cette période (dans notre étude 4/10 patients se situaient dans cet intervalle).

La sévérité du traumatisme représente également un élément pronostic important. En effet, plus la sévérité est importante, moins le pronostic est bon. Cependant, dans notre étude, nous n'avons pas abordé cet argument dans l'interprétation des résultats, tout simplement parce que les patients inclus avaient tous subi un traumatisme crânien sévère. De ce fait, la différence obtenue entre les deux groupes de training, ne peut pas s'expliquer par la sévérité du traumatisme. Ainsi, afin de limiter les biais méthodologiques, il est important de contrôler cette caractéristique, tout comme la distance du traumatisme.

Concernant la durée du training, nous avons choisi de privilégier l'intensité (beaucoup de séances dans un laps de temps court) plutôt que la longueur du programme. Ainsi, neuf séances d'une heure ont été réalisées en trois semaines. Les analyses statistiques qui ont porté sur les analyses individuelles des dix patients traumatisés crâniens nous permettent de statuer sur le fait que neuf séances semblent suffisantes pour améliorer les processus attentionnels. En effet, lorsqu'on observait une diminution des temps de réponse, elle avait lieu dès la deuxième session de training, l'amélioration continuait ensuite de manière progressive, mais stagnait assez rapidement (à partir de la quatrième ou cinquième séance en général). Autrement dit, les performances ne s'amélioreraient plus vers la fin de l'entraînement, suggérant un seuil optimal à partir duquel les participants atteignent des performances difficilement améliorables. Cependant, cela ne signifie pas pour autant que la durée du training aurait pu être plus réduite. En effet, de notre point de vue, les dernières sessions sont nécessaires à la bonne consolidation de l'apprentissage. Ainsi, même si les performances stagnent en fin de programme, cette étape de consolidation ne doit pas être négligée. Ceci semble vital au processus d'apprentissage, son absence pourrait rendre la maîtrise récemment acquise éphémère. Les dernières sessions de training ont ainsi permis d'intégrer et de consolider les mécanismes attentionnels entraînés.

Au vu de l'hétérogénéité de la population des patients traumatisés crâniens, nous pensons que la prise en charge se doit d'être spécifique. En effet, la grande variabilité des troubles attentionnels nuit à l'obtention des résultats dans une étude de groupe. Pour cette raison, il serait intéressant de construire un training cognitif spécifique à chaque individu, qui dépendrait des troubles attentionnels du patient. L'évaluation neuropsychologique peut servir de base pour évaluer les habiletés cognitives et donc construire un programme de rééducation qui s'adapte à l'individualité du patient (Bennett, 2001). Le training que l'on pourrait utiliser aurait un design qui permettrait d'entraîner les patients à partir d'un critère (ex : troubles de

l'attention divisée) plutôt qu'à partir d'un nombre fixe de séances (où l'on entraîne tous les patients sur le même nombre de séances). Cette méthode permettrait ainsi d'homogénéiser les groupes, tous les patients présenteraient par exemple un trouble électif de l'attention divisée.

Enfin, le dernier point que nous abordons, est le fait d'entraîner deux populations différentes de participants, grâce à un training unique. Nous avons conçu un training attentionnel pour des patients traumatisés crâniens et avons fait l'hypothèse qu'un tel training pourrait aussi être efficace pour une autre population présentant une baisse d'efficacité de leurs capacités attentionnelles (les personnes âgées). En effet, les processus attentionnels qui déclinent avec l'âge, sont très proches de ceux fréquemment atteints chez les patients traumatisés crâniens (attention divisée, attention sélective...). Ainsi, un programme commun d'entraînement de ces processus semble justifié. Les résultats obtenus permettent de confirmer le bien fondé de ce choix. En effet, les personnes âgées ont amélioré leurs performances sur les trois mesures outcomes, suggérant que le training utilisé était aussi bien adapté à la problématique du vieillissement normal qu'à celle du traumatisme crânien. En revanche, cela ne semble pas se vérifier dans toutes les situations de rééducation. Bédard et al. (2008) montrent que lorsque le training à une visée fonctionnelle (entraînement des habiletés de conduite), alors le programme doit être différent pour des sujets jeunes et pour des sujets âgés. Selon les auteurs, ces deux populations ont des accidents de la route qui interviennent pour des raisons et dans des situations bien différentes. Ceci nécessite donc une adaptation du training en fonction de la population étudiée. À la lumière des résultats positifs obtenus dans notre étude auprès des personnes âgées, nous postulons que lorsque le training est centré sur des processus cognitifs particuliers, alors il est justifié d'utiliser un même training à partir du moment où les deux populations ont le même type de troubles (des troubles discrets de l'attention en ce qui concerne notre étude).

L'objectif de notre étude était d'améliorer les capacités attentionnelles des personnes présentant une baisse d'efficacité de ces aptitudes pouvant se répercuter sur la conduite automobile. Nous avons postulé qu'un entraînement sur simulateur de conduite permettrait un meilleur transfert de l'apprentissage qu'un entraînement plus conventionnel sur ordinateur. Notre hypothèse n'a pas pu être vérifiée, cependant, notre objectif a été partiellement atteint.

Le training sur ordinateur s'est avéré plus bénéfique par rapport au training sur simulateur. Cependant, le simulateur a tout de même permis d'améliorer certains processus attentionnels (attention sélective, flexibilité attentionnelle). La différence entre les deux entraînements réside dans le fait que le bénéfice du training sur ordinateur s'est répercuté lors de l'évaluation sur route réelle, contrairement au training sur simulateur. Ces résultats, qui vont à l'encontre de notre hypothèse de départ, n'en sont pas moins intéressants. En effet, ils nous apportent de nouvelles connaissances quant à l'utilisation du simulateur de conduite comme outil de stimulation cognitive, ainsi que sur la méthodologie d'un training attentionnel.

Dans un premier temps, ce travail de recherche nous aura permis de statuer sur le fait que l'utilisation d'un outil écologique comme le simulateur de conduite, ne facilite pas pour autant le transfert de l'apprentissage lorsque l'entraînement est strictement fondé sur une approche restauratrice. Nous pensons que pour être efficace, les exercices proposés sur simulateur de conduite doivent être au plus proche d'une vraie situation de conduite automobile, tout en intégrant une dimension attentionnelle. Afin d'améliorer la sécurité de conduite, une perspective de recherche future consisterait à développer un training des habiletés spécifiques de conduite. Il s'agirait alors de proposer des exercices permettant d'améliorer la trajectoire, la déviation du véhicule, la conduite lors de virage, ou lors de

situations particulières, etc. (approche fonctionnelle). Dans cette nouvelle démarche, les processus attentionnels seraient entraînés de manière indirecte, car mis en jeu dans les exercices ciblant une habileté fonctionnelle spécifique (la conduite automobile). À l'inverse, dans notre étude, l'attention était entraînée de manière directe car les exercices ne représentaient pas des tâches de conduite au sens stricte (par exemple : doubler, se garer, tourner à gauche) et consistaient plutôt à mettre en jeu un processus attentionnel spécifique.

Le deuxième intérêt de cette étude est d'avoir montré qu'un training informatisé classique (sur ordinateur) peut favoriser le transfert et améliorer la performance de conduite sur route. Le bénéfice d'un training attentionnel s'observe souvent à l'aide de tests neuropsychologiques. Il est bien plus difficile d'observer l'efficacité d'un training lors d'une activité de vie quotidienne. Cette étude aura permis d'observer un tel bénéfice lors d'une évaluation sur route réelle, après un entraînement réalisé sur un outil pourtant moins écologique qu'un simulateur. Ceci est très prometteur pour la suite des recherches dans le domaine. En effet, un outil classique (l'ordinateur), permettrait de faciliter la transférabilité des résultats. Cependant, nous pensons qu'une condition est nécessaire à la mise en jeu de ce transfert : le training attentionnel doit être assez coûteux et requérir les processus contrôlés. Les processus automatiques n'interviennent que dans des situations routinières, or, lors de l'activité de conduite, nous sommes souvent confrontés à des situations particulières. Le contrôle attentionnel est indispensable et doit être requis lors d'exercices d'entraînement, afin d'améliorer la sécurité de conduite.





## **CONCLUSION GÉNÉRALE**



Depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, la rééducation neuropsychologique a connu une importante expansion (Seron & Van der Linden, 2000). S'intéressant en premier lieu aux troubles du langage, elle s'est très vite diversifiée. Les déficits des fonctions attentionnelles sont une source de handicap important dans la vie quotidienne et notamment au cours de l'activité de conduite automobile. Il n'est donc pas surprenant que la rééducation cognitive se soit largement développée dans ce domaine spécifique (l'attention). Une diminution de l'efficacité attentionnelle peut s'observer après un traumatisme crânien, mais aussi au cours du vieillissement normal. Les personnes présentant des difficultés d'ordre attentionnel, ont une haute considération de l'activité de conduite, qui est synonyme de liberté et d'indépendance. Les patients traumatisés crâniens qui reprennent la conduite automobile obtiennent de meilleurs objectifs d'intégration communautaire. La conduite automobile ferait donc partie intégrante du processus de réhabilitation sociale (Rapport, et al., 2006). L'objectif de cette recherche est d'aider les personnes ayant une diminution de l'efficacité attentionnelle, à retrouver, un fonctionnement cognitif moins invalidant dans leur vie quotidienne. Beaucoup d'études ont tenté d'améliorer la compétence de conduite de personnes ayant des troubles attentionnels. Dans notre recherche, nous avons suivi une orientation restauratrice, afin d'améliorer l'attention par une prise en charge spécifique de processus attentionnels ciblés dans une situation écologique, prenant en compte l'environnement du patient. En effet, ceci nous semble important pour favoriser le transfert des effets de l'entraînement dans la vie quotidienne. Pour cela, nous avons utilisé la réalité virtuelle, appliquée à la problématique de la conduite automobile, afin d'engendrer un degré d'immersion de la part des participants.

Dans le premier chapitre de ce travail, nous avons présenté les aspects théoriques concernant le fonctionnement attentionnel, son rôle dans l'activité de conduite, et les techniques utilisées pour améliorer l'efficacité attentionnelle ou la compétence de conduite automobile. Nous avons choisi comme cadre conceptuel du fonctionnement attentionnel, le modèle proposé par Van Zomeren et Brouwer (1994) qui divisent l'attention selon deux dimensions intégrant deux composantes chacune (alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée). L'analyse de la littérature que nous avons effectuée sur les techniques de rééducation, nous a amené à nous orienter vers une approche à visée restauratrice avec pour objectif d'améliorer les capacités attentionnelles, et vers l'utilisation d'un simulateur de conduite. Des scénarios de conduite ont ainsi été développés, mettant en jeu chacun des processus attentionnel correspondant au modèle cadre de notre étude (alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée). Trois fois par semaine, pendant trois semaines, des patients traumatisés crâniens et des personnes âgées, ont bénéficié d'un entraînement de l'attention sur simulateur de conduite. Leurs performances étaient évaluées au préalable grâce à des tests neuropsychologiques standardisés (ciblant les processus attentionnels), un test sur simulateur et un test sur route réelle réalisé par un moniteur d'auto-école. À l'issue de cette période d'entraînement, les participants étaient à nouveau évalués à l'aide des mêmes tests, afin d'observer un éventuel bénéfice du programme de training.

Cette même procédure a été utilisée auprès d'un groupe contrôle qui a réalisé un autre type d'entraînement attentionnel, mais avec un support informatique plus traditionnel (sur ordinateur). L'hypothèse principale était le fait qu'un training réalisé sur simulateur devrait permettre une meilleure amélioration de la compétence de conduite sur route réelle, car il est plus proche de la réalité.

Des améliorations ont été observées après l'entraînement sur simulateur, mais aussi après l'entraînement sur ordinateur. Les deux types de training n'ont permis que de faibles

améliorations au niveau des tests neuropsychologiques. Le training sur simulateur a permis une amélioration bien plus importante que le training sur ordinateur en ce qui concerne le test sur simulateur de conduite. Enfin, contre toute attente, le training sur ordinateur s'est avéré plus efficace pour améliorer la sécurité de conduite sur route des participants par rapport au training sur simulateur, pourtant plus écologique.

Au-delà du fait que nos résultats sont à considérer avec prudence en regard du trop faible nombre de participants que nous avons pu inclure dans ce travail, notamment chez les patients traumatisés crâniens, ils permettent néanmoins de formuler quelques pistes pour améliorer la méthodologie. En effet, selon nous, si les bénéfices escomptés n'ont pas été observés, cela ne remet pas en cause les bienfaits de l'utilisation d'un simulateur de conduite pour la stimulation cognitive. Nous pensons que plusieurs raisons sont à l'origine de l'absence de résultats.

Dans un premier temps, le choix de l'orientation de la rééducation n'était peut-être pas le bon. Une rééducation strictement attentionnelle est efficace au niveau des performances aux tests neuropsychologiques, mais ses effets sont plus difficilement observables en situation de vie quotidienne. Une rééducation attentionnelle effectuée dans un contexte de conduite automobile ne semble pas plus efficace. Il semblerait qu'une approche plus fonctionnelle, entraînant directement les habiletés de conduite soit plus pertinente, à condition qu'elle intègre la dimension attentionnelle aux exercices d'entraînement.

Dans un second temps, le programme de rééducation était identique pour tous les participants, et ne dépendait pas des résultats du bilan neuropsychologique. De ce fait, l'entraînement n'était pas individualisé et les quatre processus attentionnels ciblés étaient entraînés chez tous les participants de la même manière, en dépit d'un pattern de performances initial différent d'un participant à l'autre. Nous pensons qu'une prise en charge, pour être optimale, se doit de prendre en considération le niveau de performances des participants afin d'adapter au mieux un programme d'entraînement spécifique. De plus, lorsqu'on s'intéresse à la pathologie, l'hétérogénéité des troubles pouvant faire suite à une lésion cérébrale accentue de fait le choix d'une prise en charge individualisée. Ainsi, pour un patient ayant des troubles de l'attention divisée, seul un training mettant en jeu cette composante attentionnelle lui sera proposé.

L'hypothèse principale n'a pas pu être vérifiée, cependant, ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherche futures. Il serait tout d'abord intéressant d'augmenter l'effectif total des participants afin de confirmer la valeur statistique des résultats. De plus, concernant la pathologie du traumatisme crânien, certains critères doivent être davantage contrôlés, comme la distance et la sévérité du traumatisme. Ensuite, le protocole expérimental devrait être développé, en intégrant une partie plus fonctionnelle. Le training fonctionnel consisterait alors à entraîner les participants à maintenir une trajectoire, à doubler une voiture en toute sécurité, à adapter sa vitesse en fonction des situations, à entraîner la perception du risque, etc. Un tel training pourrait même comporter (principalement pour des conducteurs âgés), une partie permettant une mise à jour des connaissances du code de la route, et notamment de la signification des panneaux de signalisation. Enfin, comme discuté précédemment, il paraît indispensable de développer un programme très complet, permettant ensuite de choisir tel ou tel exercice en fonction des difficultés spécifiques du participant.

Les exercices proposés lors du training sur ordinateur nécessitaient plus de contrôle attentionnel que ceux proposés sur simulateur de conduite. Ce travail nous aura donc permis de comprendre qu'un training attentionnel doit mettre en jeu les processus contrôlés pour être efficace et surtout permettre un transfert de l'apprentissage lors d'activités de vie quotidienne,

comme la conduite automobile. Cette étude a également eu pour intérêt de montrer que l'outil utilisé lors d'une stimulation cognitive conditionne, en partie, le choix de l'approche rééducative. Nous pensons qu'une approche fonctionnelle est plus pertinente qu'une approche restauratrice lorsque le support de training utilisé est un simulateur de conduite.

Le principal apport de ce travail reste tout de même le fait qu'un entraînement sur ordinateur peut permettre un transfert de l'apprentissage à une situation écologique (conduite sur route). Cependant, le logiciel utilisé pour entraîner l'attention sur ordinateur n'était pas sans lien avec la conduite automobile. En effet, les quatre exercices proposés étaient dynamiques et bon nombre des scènes visuelles représentaient la conduite d'un véhicule. Ainsi, nous sommes en mesure de nous demander si un training sur ordinateur, effectué avec des tâches ciblant les processus attentionnels, mais sans lien avec l'activité de conduite, aurait permis d'obtenir des résultats aussi positifs et surtout de transférer le bénéfice en situation de conduite réelle.

Pour les patients traumatisés crâniens et les personnes âgées, la conduite automobile représente une activité essentielle en termes d'autonomie et d'indépendance. Cependant, dans les centres de rééducation, la place accordée à la rééducation des fonctions cognitives est encore assez restreinte et l'intégration de la problématique de la conduite automobile au sein d'un programme de stimulation cognitive l'est encore plus. Peu de structures proposent de prendre en charge les déficits cognitifs avec pour objectif de rendre la conduite plus sécuritaire. Ce travail a permis d'appréhender l'importance que représente une telle démarche. Au vu des résultats obtenus dans notre étude, une nouvelle organisation de la prise en charge, pour être optimale, consisterait à identifier les difficultés cognitives spécifiques des conducteurs, afin de proposer un entraînement spécifique adapté aux besoins de chacun. Les différentes techniques d'évaluation de la compétence de conduite (tests off-road ou sur route) ne permettent pas de prédire avec certitude l'aptitude de conduite réelle. En revanche, le training cognitif peut s'avérer être une solution pour améliorer la sécurité de conduite des personnes ayant une diminution de leurs capacités attentionnelles.

## **COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES**

- Masson, M. (2007). Processus attentionnels et conduite automobile chez les patients traumatisés crâniens. Unpublished Mémoire de Master 2 Neuropsychologie, Université de Savoie, Chambéry.
- Masson, M., Colliot, P., Michaël, G. A., Désert, J.-F., Rhein, F., & Foubert, L. (2008). Processus attentionnels et conduite automobile chez les patients traumatisés crâniens. Paper presented at the 50ème Congrès de la Société Française de Psychologie, Bordeaux.
- Masson, M., Marin-Lamellet, C., Colliot, P., & Boisson, D. (2009, 26-26 avril). Cognitive rehabilitation of TBI drivers: a driving simulator approach. Paper presented at the International Traffic Medicine Association 21 th World Congress, The Hague, the Netherlands.
- Masson, M., Marin-Lamellet, C., Colliot, P., & Boisson, D. (2009, 18 mai). Réadaptation des processus attentionnels pour une population de traumatisés crâniens : application à la conduite automobile. Paper presented at the Rencontres Scientifiques de l'Ecole Doctorale Neurosciences et Cognition, Institut des Sciences Cognitives.
- Masson, M., Marin-Lamellet, C., Colliot, P., & Boisson, D. (2009, 15-17 Octobre). Réadaptation des processus attentionnels pour une population de traumatisés crâniens : application à la conduite automobile. Paper presented at the 24e Congrès de Médecine Physique et de Réadaptation, Lyon.
- Masson, M., Marin-Lamellet, C., Colliot, P., & Boisson, D. (2010, March 10-14). Cognitive rehabilitation of traumatic brain injury drivers: A driving simulator approach – Preliminary Report. Paper presented at the International Brain Injury Association, 8th World Congress on Brain Injury, Washington, DC.
- Etienne, V., Marin-Lamellet, C., & Masson, M. (2010, March 10-14). A Longitudinal Study on Driving Skills after a Traumatic Brain Injury. Paper presented at the International Brain Injury Association 8th World Congress on Brain Injury, Washington, DC.
- Masson, M., Michael, G. A., Désert, J.-F., Rhein, F., Foubert, L., & Colliot, P. (soumis). Attentional processes and driving activity for traumatic brain injury patients. *Human Factors*.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**





- Adam, S., Van der Linden, M., & Collette, F. (2002). Processus attentionnels et vieillissement normal. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention*. Marseille: Solal.
- Akinwuntan, A. E., De Weerd, W., Feys, H., Baten, G., Arno, P., & Kiekens, C. (2005a). The validity of a road test after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(3), 421-426.
- Akinwuntan, A. E., De Weerd, W., Feys, H., Pauwels, J., Baten, G., Arno, P., et al. (2005b). Effect of simulator training on driving after stroke: A randomized controlled trial. *Neurology*, 65, 843-850.
- Akinwuntan, A. E., De Weerd, W., Feys, H., Verheyden, G., De Vooght, F., & Devos, H. (2007, July 9-12). Training of driving-related attentional performance after stroke using a driving simulator. Paper presented at the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Washington, USA.
- Akinwuntan, A. E., Devos, H., Verheyden, G., Baten, G., Kiekens, C., Feys, H., et al. (2010). Retraining moderately impaired stroke survivors in driving-related visual attention skills. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 17(5), 328-336.
- Akinwuntan, A. E., De Weerd, W., Feys, H., Baten, G., Arno, P., & Kiekens, C. (2003). Reliability of a road test after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(12), 1792-1796.
- Akinwuntan, A. E., Feys, H., De Weerd, W., Pauwels, J., Baten, G., & Strypstein, E. (2002). Determinants of driving after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83, 334-341.
- Alaoui, P., Mazaux, J., Masson, F., Vecsey, J., Destaillets, J., Maurette, P., et al. (1998). Devenir neuropsychologique à long terme des traumatisés crâniens. Evaluation à 5 ans des troubles neuropsychologiques et comportementaux par l'échelle neurocomportementale révisée (à propos de 79 cas). *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 41(4), 171-181.
- Allain, P., Aubin, G., & Le Gall, D. (2004). Déficits cognitifs dans les traumatismes crâniens légers : état de la question. In T. Meulemans, P. Azouvi, F. Coyette & G. Aubin (Eds.), *Neuropsychologie des Traumatismes Crâniens Légers* (pp. 55-90). Marseille: Solal.
- André, J.-M., Paysant, J., & Beis, J.-M. (2006). Classification internationale du fonctionnement, troubles neuropsychologiques et vie quotidienne. In P. Pradat-Diehl & A. Peskine (Eds.), *Evaluation des Troubles Neuropsychologiques en Vie Quotidienne* (pp. 7-16). Paris: Springer.
- Auclair, L., & Siéoff, E. (2005, 24-25/03). Conduite automobile et contrôle attentionnel. Paper presented at the Séminaire du Sous-Réseau Attention, Lyon.
- Auerbach, S. H. (1988). Neuroanatomical correlates of attention and memory disorders in traumatic brain injury: An application of neurobehavioral subtypes. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 1(3), 1-12.
- Azouvi, P., Couillet, J., & Agar, N. (1998). Troubles de l'attention après traumatisme crânien sévère : aspects théoriques et rééducation. *Revue de Neuropsychologie*, 8(1), 125-154.
- Azouvi, P., Couillet, J., Leclercq, M., Martin, Y., Asloun, S., & Rousseaux, M. (2004). Divided attention and mental effort after severe traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, 42(9), 1260-1268.
- Azouvi, P., Couillet, J., & Vallat, C. (2002). Les troubles de l'attention après traumatisme crânien sévère. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 193-204). Marseille: Solal.

- Azouvi, P., Jokic, C., Van der Linden, M., Marlier, N., & Bussel, B. (1996). Working memory and supervisory control after severe closed head injury. A study of dual task performance and random generation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 18(3), 317-337.
- Ball, K. K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L., & Griggs, D. S. (1988). Age and visual search: expanding the useful field of view. *J. Opt. Soc. Am. A*, 5(12), 2210-2219.
- Bédard, M., Porter, M. M., Marshall, S., Isherwood, I., Riendeau, J., Weaver, B., et al. (2008). The combination of two training approaches to improve older adult's driving safety. *Traffic Injury Prevention*, 9, 70-76.
- Behrmann, M., Geng, J. J., & Shomstein, S. (2004). Parietal cortex and attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(2), 212-217.
- Belin, C. (1999). Bases neurobiologiques de la récupération spontanée et de la rééducation. In P. Azouvi, D. Perrier & M. Van der Linden (Eds.), *La Rééducation en Neuropsychologie : études de cas* (pp. 9-18). Marseille: Solal.
- Belmont, A., Agar, N., Hugeron, C., Gallais, B., & Azouvi, P. (2006). Fatigue et traumatisme crânien. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 49(6), 283-288.
- Ben-Yishay, Y., Piasetsky, E., & Rattok, J. (1987). A systematic method for ameliorating disorders in basic attention. In M. J. Meier, L. Diller & A. L. Benton (Eds.), *Neuropsychological Rehabilitation* (pp. 165-181). London: Curchill-Livingstone.
- Boujon, C., Lemercier, C., & Quaireau, C. (2005, 24-25/03). *Activité humaine et Attention*. Paper presented at the Séminaire du Sous-Réseau Attention, Lyon.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. Oxford, UK: Pergamon.
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., et al. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 788-796.
- Brooks, N., & Hawley, C. A. (2005). Return to driving after traumatic brain injury: A British perspective. *Brain Injury*, 19(3), 165-175.
- Brouwer, W. H. (2002a). Attention and driving: A cognitive neuropsychological approach. In P. Zimmermann & M. Leclercq (Eds.), *Applied Neuropsychology of Attention* (pp. 223-248). Hove: Psychology Press.
- Brouwer, W. H. (2002b). Attention et aptitude à la conduite automobile : Approche neuropsychologique. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 243-254). Marseille: Solal.
- Brouwer, W. H., Ponds, R. W. H. M., Van Wolffelaar, P. C., & Van Zomeran, A. H. (1989). Divided attention 5 to 10 years after severe closed head injury. *Cortex*, 25, 219-230.
- Brouwer, W. H., Withaar, F., Tant, M. L. M., & Van Zomeran, A. H. (2002). Attention and driving in traumatic brain injury: A question of coping with time pressure. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(1), 1-15.
- Brouwer, W. H., & Withaar, F. K. (1997). Fitness to drive after traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 7(3), 177-193.
- Bruns, J., & Hauser, W. A. (2003). The epidemiology of traumatic brain injury: A review. *Epilepsia*, 44(s10), 2-10.
- Camus, J.-F. (2002). La psychologie cognitive des processus attentionnels. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 11-26). Marseille: Solal.
- Camus, J.-F. (2003). L'Attention et ses modèles. *Psychologie Française*, 48(1), 5-18.
- Carroz, A., Comte, P. A., Nicolo, D., Dériaz, O., & Vuadens, P. (2008). Intérêt du simulateur de conduite pour la reprise de la conduite automobile en situation de handicap. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 51(5), 358-365.

- Cassavaugh, N. D., & Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics*, 40(5), 943-952.
- Cazalis, F., Azouvi, P., Sirigu, A., & Agar, N. (2001). Script knowledge after severe traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 7, 795-804.
- Chapon, A. (2006). Enjeux des recherches sur les troubles de l'attention du conducteur. In A. Chapon, C. Gabaude & A. Fort (Eds.), *Défauts d'Attention et Conduite Automobile* (Vol. 52, pp. 22-26). Paris: INRETS.
- Chapon, A., & Chalme, S. (2006). Les contextes expérimentaux : Moyens d'étude. In A. Chapon, C. Gabaude & A. Fort (Eds.), *Défauts d'Attention et Conduite Automobile : état de l'art et nouvelles orientations pour la recherche dans les transports* (Vol. n°52, pp. 27-34). Paris: INRETS.
- Choi, J., & Medalia, A. (2005). Factors associated with a positive response to cognitive remediation in a community psychiatric sample. *Psychiatric Services*, 56(5), 602-604.
- Christensen, B. K., Colella, B., Inness, E., Hebert, D., Monette, G., Bayley, M., et al. (2008). Recovery of cognitive function after traumatic brain injury: A multilevel modeling analysis of Canadian outcomes. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(12, Supplement 1), S3-S15.
- Christiansen, C., Abreu, B., Ottenbacher, K., Huffman, K., Masel, B., & Culpepper, R. (1998). Task performance in virtual environments used for cognitive rehabilitation after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(8), 888-892.
- Cicerone, K. D., Azulay, J., & Trott, C. (2009). Methodological Quality of Research on Cognitive Rehabilitation After Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(11, Supplement 1), S52-S59.
- Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Kalmar, K., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Bergquist, T. F., et al. (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: Recommendations for clinical practice. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(12), 1596-1615.
- Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Malec, J. F., Langenbahn, D. M., Felicetti, T., Kneipp, S., et al. (2005). Evidence-Based Cognitive Rehabilitation: Updated Review of the Literature From 1998 Through 2002. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(8), 1681-1692.
- Cochet, A., Saoud, M., Gabriele, S., Broallier, V., El asmar, C., Daléry, J., et al. (2006). Impact de la remédiation cognitive dans la schizophrénie sur les stratégies de résolution de problèmes et l'autonomie sociale : utilisation du logiciel REHACOM®. *L'Encéphale*, 32(2), 189-195.
- Coleman, R. D., Rapport, L. J., Ergh, T. C., Hanks, R. A., Ricker, J. H., & Millis, S. R. (2002). Predictors of driving outcome after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(10), 1415-1422.
- Corbetta, M., Miezin, F., Dobmeyer, S., Shulman, G., & Petersen, S. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: Functional anatomy by positron emission tomography. *J. Neurosci.*, 11(8), 2383-2402.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci*, 3(3), 201-215.
- Couillet, J. (2002). Evaluation de l'efficacité d'une prise en charge de déficits spécifiques d'attention divisée d'un patient traumatisé crânien. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 295-305). Marseille: Solal.
- Couillet, J., Asloun, S., & Azouvi, P. (2006). Rééducation des déficits attentionnels. In P. Pradat-Diehl, P. Azouvi & V. Brun (Eds.), *Fonctions Exécutives et Rééducation* (pp. 94-97). Paris: Masson.

- Croisiaux, C. (2005). *Le handicap invisible? Quelques pistes pour y faire face au quotidien...* Bruxelles: Centre Ressource La Braïse.
- Crotty, M., & George, S. (2009). Retraining visual processing skills to improve driving ability after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(12), 2096-2102.
- De Raedt, R. (2000). *Cognitive/Neuropsychological functioning and compensation related to car driving performance in older adults*. Unpublished Ph.D. dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium.
- De Raedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2000). Can strategic and tactical compensation reduce crash risk in older drivers? *Age and Ageing*, 29, 517-521.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 93, 283-321.
- Devos, H., Akinwuntan, A. E., Nieuwboer, A., Ringoot, I., Van Berghen, K., Tant, M., et al. (In Press). Effect of simulator training on fitness-to-drive after stroke: A 5-year follow-up of a randomized controlled trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*.
- Devos, H., Akinwuntan, A. E., Nieuwboer, A., Tant, M., Truijten, S., De Wit, L., et al. (2009). Comparison of the effect of two driving retraining programs on on-road performance after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(7), 699-705.
- Dikmen, S. S., Machamer, J. E., Winn, H. R., & Temkin, N. R. (1995). Neuropsychological Outcome at 1-Year Post Head Injury. *Neuropsychology*, 9(1), 80-90.
- Draper, K., & Ponsford, J. (2008). Cognitive functioning ten years following traumatic brain injury and rehabilitation. *Neuropsychology*, 22(5), 618-625.
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., & Pillon, B. (2000). The FAB. *Neurology*, 55(11), 1621-1626.
- Ducarne de Ribaucourt, B. (1997). La naissance et le développement de la rééducation neuropsychologique. In F. Eustache, J. Lambert & F. Viader (Eds.), *Rééducations neuropsychologiques* (pp. 9-38). Paris: De Boeck Université.
- Engum, E. S., Cron, L., Keith Hulse, C., Pendergrass, T. M., & Warren, L. (1988). Cognitive Behavioral driver's inventory. *Cognitive Rehabilitation*, 34-36.
- Eustache, F., & Faure, S. (2005). *Manuel de Neuropsychologie*. Paris: Dunod.
- Fattal, C., Gania, L., leblond, C., Israël, G., Fourroux, J., Girousse, A., et al. (2006). Evaluation de la conduite automobile chez le cérébrolésé : limites méthodologiques et perspectives. In P. Pradat-Diehl & A. Peskine (Eds.), *Evaluation des Troubles Neuropsychologiques en Vie Quotidienne* (pp. 123-135). Paris: Springer.
- Fattal, C., They, J., Gania, L., Coulon, J., Layre, J., & Enjalbert, M. (1998). Sélection des patients cérébrolésés en vue de la reprise de la conduite automobile. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 41(2), 77-83.
- Fattal, C., They, J. M., Gania, L., Girousse, A., Fourroux, J., Israël, G., et al. (2000). Problématique des aptitudes à la conduite automobile chez le cérébrolésé vasculaire ou traumatique. In M. Enjalbert & C. Fattal (Eds.), *Conduite Automobile et Handicap* (pp. 80-86). Paris: Masson.
- Fayol, P., Carrière, H., Habonimana, D., Preux, P.-M., & Dumond, J.-J. (2004). Version française de l'entretien structuré pour l'échelle de devenir de Glasgow (GOS) : recommandations et premières études de validation. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 47(4), 142-156.
- Fisk, G. D., Novack, T. A., Mennemeier, M., & Roenker, D. L. (2002). Useful field of view after traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(1), 16-25.
- Fisk, G. D., Schneider, J. J., & Novack, T. A. (1998). Driving following traumatic brain injury: Prevalence, exposure, advice and evaluations. *Brain Injury*, 12(8), 683-695.
- Fitten, L. J., Perryman, K. M., Wilkinson, C. J., Little, R. J., Burns, M. M., Pachana, N., et al. (1995). Alzheimer and vascular dementias and driving. A prospective road and

- laboratory study. *The Journal of the American Medical Association*, 273(17), 1360-1365.
- Flaada, J. T., Leibson, C. L., Mandrekar, J. N., Diehl, N., Perkins, P. K., Brown, A. W., et al. (2007). Relative Risk of Mortality after Traumatic Brain Injury: A Population-Based Study of The Role of Age And Injury Severity. *Journal of Neurotrauma*, 24(3), 435-445.
- 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. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189-198.
- Formisano, R., Bivona, U., Brunelli, S., Giustini, M., Longo, E., & Taggi, F. (2005). A preliminary investigation of road traffic accident rate after severe brain injury. *Brain Injury*, 19(3), 159-163.
- Foster, M., & Tilse, C. (2003). Referral to rehabilitation following traumatic brain injury: A model for understanding inequities in access. *Social Science & Medicine*, 56(10), 2201-2210.
- Galski, T., Ehle, H. T., & Williams, J. B. (1997). Off-road driving evaluations for persons with cerebral injury: A factor analytic study of predriver and simulator testing. *The American Journal Of occupational Therapy*, 51(5), 352-359.
- Gansler, D. A., & McCaffrey, R. J. (1991). Remediation of chronic attention deficits in traumatic brain-injured patients. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 6(4), 335-353.
- Godefroy, O., Roussel-Pierronne, M., Routier, M., & Dupuy-Sonntag, D. (2004). Etude neuropsychologique des fonctions exécutives. In T. Meulemans, F. Collette & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie des Fonctions Exécutives* (pp. 11-23). Marseille: Solala.
- Gray, J. M., & Robertson, I. (1989). Remediation of attentionnal difficulties following brain injury: Three experimental single case studies. *Brain Injury*, 3(2), 163-170.
- Gray, J. M., Robertson, I., Pentland, B., & Anderson, S. (1992). Microcomputer-based attentional retraining after brain damage: A randomised group controlled trial. *Neuropsychological Rehabilitation: An International Journal*, 2(2), 97 - 115.
- Grefex. (2001). L'évaluation des fonctions exécutives en pratique clinique. *Revue de Neuropsychologie*, 11(3), 383-433.
- Gronwall, D. M. A. (1977). Paced auditory serial addition task: A measure of recovery from concussion. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 367-373.
- Hartley, A. A. (1992). Attention. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hawley, C. A. (2001). Return to driving after head injury. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 70, 761-766.
- Hopewell, C. A. (2009). Driving and traumatic brain injury. In M. T. Schultheis, J. DeLuca & D. L. Chute (Eds.), *Handbook for the Assessment of Driving Capacity* (pp. 71-94). USA: Elsevier.
- Hopewell, C. A., & Price, R. J. (1985). Driving after head injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 7(2), 148.
- Huchler, S., Jörg, A., Golz, D., Küst, J., Netz, J., Hömberg, V., et al. (2002). Evaluation of driving simulation. *Europa Medicophysica*, 38, 283-289.
- Hunt, L. A., Murphy, C. F., Carr, D., Duchek, J. M., Buckles, V., & Morris, J. C. (1997a). Environmental cueing may effect performance on a road test for drivers with dementia of the Alzheimer type. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 11 Suppl 1, 13-16.
- Hunt, L. A., Murphy, C. F., Carr, D., Duchek, J. M., Buckles, V., & Morris, J. C. (1997b). Reliability of the Washington University Road Test. A performance-based assessment

- for drivers with dementia of the Alzheimer type. *Archives of Neurology*, 54(6), 707-712.
- Jacobs, K., Jennings, L., Forman, M., Benjamin, J., DiPanfilo, K., & LaPlante, M. (1997). The use of participation-oriented education in the rehabilitation of driving skills in older adults. *Work*, 8, 281-291.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New-York: Holt.
- Janke, M. K., & Hersch, S. W. (1997). Assessing the older driver : Pilot studies (No. RSS-97-172): California department of motor vehicles.
- Jennett, B. (1996). Epidemiology of head injury. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychology*, 60, 362-369.
- Jennett, B., & Bond, M. (1975). Assessment of outcome after severe brain damage: A Practical Scale. *The Lancet*, 305(7905), 480-484.
- Jennett, B., & Teasdale, G. (1981). *Management of Head Injuries*. Philadelphia: Davis.
- Jørgensen, H. S., Nakayama, H., Raaschou, H. O., Vive-Larsen, J., Støier, M., & Olsen, T. S. (1995). Outcome and time course of recovery in stroke. Part II: Time course of recovery. The copenhagen stroke study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(5), 406-412.
- Joseph, P.-A., Aubin, G., & Le Gall, D. (1995). Prise de conscience et déni des déficits : évaluation et prise en charge. In C. Bergego & P. Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie des Traumatismes Crâniens Graves de l'Adulte*. Paris: Editions Frison-Roche.
- Juillerat Van der Linden, A.-C. (2008). Démence de type Alzheimer et évaluation des activités de la vie quotidienne. In A.-C. Juillerat Van der Linden, G. Aubin, D. Le Gall & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie de la Vie Quotidienne* (pp. 41-105). Marseille: Solal.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Kewman, D. G., Seigerman, C., Kintner, H., Chu, S., Henson, D., & Reeder, C. (1985). Simulation training of psychomotor skills: Teaching the brain-injured to drive. *Rehabilitation Psychology*, 30(1), 11-27.
- Kim, Y.-H., Yoo, M.-H., Park, C.-h., Kim, S. T., & Na, D. L. (2009). Plasticity of the attentional network after brain injury cognitive rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(5), 468-477.
- Korner-Bitensky, N., Kua, A., von Zweck, C., & Van Benthem, K. (2009). Older driver retraining: An updated systematic review of evidence of effectiveness. *Journal of Safety Research*, 40(2), 105-111.
- Korteling, J. E., & Kaptein, N. A. (1996). Neuropsychological driving fitness tests for brain-damaged subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77(2), 138-146.
- Laberge, D. (1995). *Attentional Processing*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Langevin, P., & Le Gall, D. (1999). L'anosognosie secondaire à une atteinte frontale. In M. Van der Linden, X. Seron, D. Le Gall & P. Andres (Eds.), *Neuropsychologie des Lobes Frontaux* (pp. 289-307). Marseille: Solal.
- Le Chapelain, L., & André, J. M. (1999). Conduite automobile et incapacités locomotrices d'origine neurologique. *La Lettre du Neurologue*, 6(3), 359-363.
- Le Gall, D., & Allain, P. (2008). Traumatisme crânien et vie quotidienne. In A.-C. Juillerat Van der Linden, G. Aubin, D. Le Gall & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie de la Vie Quotidienne*. Marseille: Solal.
- Le Gall, D., Joseph, P. A., & Truelle, J. L. (1987). Le syndrome frontal post-traumatique : lésions frontales et troubles psycho-comportementaux secondaires aux traumatismes craniocérébraux. *Neuropsychologia*, 4, 257-265.

- Le Thiec, F., Jokic, C., Picard, F., & Prime, N. (1998). Réflexions sur les modalités légales de reprise de la conduite automobile après lésions encéphaliques. *La Lettre de Médecine Physique et de Réadaptation*, 2, 19-22.
- Leclercq, M. (2002a). Rééducation cognitive de l'attention divisée chez un adulte victime d'un traumatisme crânien sévère : étude d'un cas. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 277-294). Marseille: Solal.
- Leclercq, M. (2002b). Theoretical aspects of the main components and function of attention. In M. Leclercq & P. Zimmermann (Eds.), *Applied Neuropsychology of Attention: Theory, diagnosis and Rehabilitation* (pp. 3-55). London: Psychology Press.
- Leclercq, M., & Zimmermann, P. (2000). L'évaluation des fonctions attentionnelles. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de Neuropsychologie Clinique* (Vol. I, pp. 95-114). Marseille: Solal.
- Lee, H. C., Cameron, D., & Lee, A. H. (2003). Assessing the driving performance of older adult drivers: On-road versus simulated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 797-803.
- Lengenfelder, J., Schultheis, M. T., Al-Shihabi, T., Mourant, R., & DeLuca, J. (2002). Divided attention and driving: A pilot study using virtual reality technology. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(1), 26-37.
- Léon-Carrion, J., Dominguez-Morales, M. R., & Barroso y Martin, J. M. (2005). Driving with cognitive deficits: Neurorehabilitation and legal measures are needed for driving again after severe traumatic brain injury. *Brain Injury*, 19(3), 213-219.
- Levin, H. S., Goldstein, F. C., Williams, D. H., & Eisenberg, H. M. (1991). The contribution of frontal lobe lesions to the neurobehavioral outcome of closed head injury. In H. S. Levin, H. M. Eisenberg & A. L. Benton (Eds.), *Frontal Lobe Function and Dysfunction* (pp. 318-338). New-York: Oxford University Press.
- Levin, H. S., & Kraus, M. F. (1994). The frontal lobes and traumatic brain injury. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 6(4), 443-454.
- Levin, H. S., O' Donnell, V. M., & Grossman, R. G. (1979). The Galveston Orientation and Amnesia Test. *Journal of Nervous and Mental Diseases*, 167, 675-684.
- Lew, H. L., Poole, J. H., Lee, E. H., Jaffe, D. L., Huang, H.-C., & Brodd, E. (2005). Predictive validity of driving-simulator assessments following traumatic brain injury: A preliminary study. *Brain Injury*, 19(3), 177-188.
- Lew, H. L., Rosen, P. N., Thomander, D., & Poole, J. H. (2009). The potential utility of driving simulators in the cognitive rehabilitation of combat-returnees with traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 24(1), 51-56.
- Lezac, M. (1983). *Neuropsychological Assessment* 2nd ed. New-York: Oxford University Press.
- Lion, J., Le Guet, J. L., Mazaux, J. M., Allain, P., Le Gall, D., Gainche, Y., et al. (1997). L'école de vie pour traumatisés crâniens : un programme de réhabilitation. A propos de cinq ans. *Annales de Readaptation et de Médecine Physique*, 40(6), 346.
- Lishman, W. A. (1973). The psychiatric sequelae of head injury: A review. *Psychological Medicine*, 3(03), 304-318.
- Loken, W. J., Thornton, A. E., Otto, R. L., & Long, C. J. (1995). Sustained attention after severe closed head injury. *Neuropsychology*, 9(4), 592-598.
- Longoni, F., Sturm, W., Weis, S., Holtel, C., Specht, K., Herzog, H., et al. (2000). Functional reorganization after training of alertness in two patients with right-hemisphere lesions. *Zeitschrift Für Neuropsychologie*, 11(4), 250-261.
- Lundqvist, A. (2001a). Cognitive functions in drivers with brain injury: Anticipation and adaptation. Unpublished Ph.D. dissertation, Faculty of Health Sciences, Linköping universitet, Linköping, Sweden.

- Lundqvist, A. (2001b). Neuropsychological aspects of driving characteristics. *Brain Injury*, 15(11), 981-994.
- Lundqvist, A., & Rönnerberg, J. (2001). Driving problems and adaptive driving behaviour after brain injury: A qualitative assessment. *Neuropsychological Rehabilitation*, 11(2), 171-185.
- Mackworth, J. F. (1963). Effect of reference marks on the detection of signals on a clock face. *Journal of Applied Psychology*, 47(3), 196-201.
- Marin-Lamellet, C., Paire-Ficout, L., Lafont, S., Amiéva, H., Laurent, B., Thomas-Anterion, C., et al. (2003). Mise en place d'un outil d'évaluation des déficits attentionnels affectant les capacités de conduite au cours du vieillissement normal et pathologique : l'étude SEROVIE. *Recherche Transports Sécurité*, 81(Numéro spécial vieillissement et conduite automobile), 177-189.
- Marlier, N. (1995). L'amnésie post-traumatique : revue de la littérature. In C. Bergego & P. Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie des Traumatismes Crâniens Graves de l'Adulte* (pp. 53-63). Paris: Frison-Roche.
- Marottoli, R. A., Allore, H., Araujo, K. L., Iannone, L. P., Acampora, D., Gottschalk, M., et al. (2007a). A randomized trial of a physical conditioning program to enhance the driving performance of older persons. *Journal of General Internal Medicine*, 22(5), 590-597.
- Marottoli, R. A., Richardson, E. D., Stowe, M. H., Miller, E. G., Brass, L. M., Cooney, L. M., et al. (1998). Development of a test battery to identify older drivers at risk for self-reported adverse driving events. *JAGS*, 46, 562-568.
- Marottoli, R. A., Van Ness, P. H., Araujo, K. L., Iannone, L. P., Acampora, D., Charpentier, P., et al. (2007b). A randomized trial of an education program to enhance older driver performance. *Journal of Gerontology*, 62A(10), 1113-1119.
- Masson, F. (2000). Epidémiologie des traumatismes crâniens graves. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, 19(4), 261-269.
- Masson, M. (2007). Processus attentionnels et conduite automobile chez les patients traumatisés crâniens. Unpublished Mémoire de Master 2 Neuropsychologie, Université de Savoie, Chambéry.
- Mathias, J. L., & Lucas, L. K. (2009). Cognitive predictors of unsafe driving in older drivers: A meta-analysis. *International Psychogeriatrics*, 21(4), 637-653.
- Mathias, J. L., & Wheaton, P. (2007). Changes in attention and information-processing speed following severe traumatic brain injury: A meta-analytic review. *Neuropsychology*, 21(2), 212-223.
- Mattson, A. J., & Levin, H. S. (1990). Frontal lobe dysfunction following closed head injury. A review of the literature. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 178(5), 282-291.
- Mazaux, J.-M., & Joseph, P. A. (2000). La récupération cognitive après traumatisme crânien. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de Neuropsychologie Clinique* (Vol. II, pp. 31-38). Marseille: Solal.
- Mazer, B. L., Korner-Bitensky, N. A., & Sofer, S. (1998). Predicting ability to drive after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(7), 743-750.
- Mazer, B. L., Sofer, S., Korner-Bitensky, N., Gelinas, I., Hanley, J., & Wood-Dauphinee, S. (2003). Effectiveness of a visual attention retraining program on the driving performance of clients with stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(4), 541-550.
- McCoy, P. T., Tarawneh, M. S., Bishu, R. R., Ashman, R. D., & Foster, B. G. (1993). Evaluation of countermeasures for improving driving performance of older drivers. *Transportation Research Record*, 1405, 72-80.



- McDowell, S., Whyte, J., & D'Esposito, M. (1997). Working memory impairments in traumatic brain injury: Evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychologia*, 35(10), 1341-1353.
- McKenna, P., Jefferies, L., Dobson, A., & Frude, N. (2004). The use of a cognitive battery to predict who will fail an on-road driving test. *British Journal of Clinical Psychology*, 43(Pt 3), 325-336.
- Mesulam, M. M. (1985). Attention, confusional states and neglect. In M. M. Mesulam (Ed.), *Principles of Behavioral Neurology*. Philadelphia: F.A. Davis Company.
- Michel, J. A., & Mateer, C. A. (2006). Attention rehabilitation following stroke and traumatic brain injury. *Eur Med Phys*, 42, 59-67.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. A. Evans & R. Schwing (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Driver Behavior and Traffic Safety*. General Motors Research Laboratories (pp. 485-520). New-York: Plenum Press.
- Näätänen, R. (1992). What is Attention? In R. Näätänen (Ed.), *Attention and Brain Functions* (pp. 1-10). Hillsdale: Erlbaum Associate Publishers.
- Niemann, H., Ruff, R. M., & Baser, C. A. (1990). Computer-assisted attention retraining in head-injured individuals: A controlled efficacy study of an outpatient program. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 58(6), 811-817.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation*. New-York: Plenum Press.
- Novack, T. A., Banos, J. H., Alderson, A. L., Schneider, J. J., Weed, W., Blankenship, J., et al. (2006). UFOV performance and driving ability following traumatic brain injury. *Brain Injury*, 20(5), 455-461.
- Nuechterlein, K. H., Parasuraman, R., & Jiang, Q. (1983). Visual sustained attention: Image degradation produces rapid sensitivity decrement over time. *Science*, 220(4594), 327-329.
- O'Neill, D., Neubauer, K., Boyle, M., Gerrard, J., Surmon, D., & Wilcock, G. K. (1992). Dementia and driving. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 85(4), 199-202.
- Odenheimer, G. L., Beaudet, M., Jette, A. M., Albert, M. S., Grande, L., & Minaker, K. L. (1994). Performance-based driving evaluation of the elderly driver: Safety, reliability, and validity. *Journal of Gerontology*, 49(4), M153-159.
- Oppenheim-Gluckman, H., Fayol, P., De Collason, P., Dumond, J. J., & Azouvi, P. (2003). Psychopathologie de la méconnaissance des troubles cognitifs et comportementaux des traumatisés crâniens sévères. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 46(1), 41-48.
- Owensworth, T., & Clare, L. (2006). The association between awareness deficits and rehabilitation outcome following acquired brain injury. *Clinical Psychology Review*, 26(6), 783-795.
- Owsley, C., Ball, K., McGwin, G., Sloane, M. E., Roenker, D. L., White, M. F., et al. (1998). Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 279(14), 1083-1088.
- Owsley, C., Stalvey, B. T., & Phillips, J. M. (2003). The efficacy of an educational intervention in promoting self-regulation among high-risk older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 393-400.
- Parasuraman, R. (1984). Sustained attention in detection and discrimination. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention*. New-York, NJ: Academic Press.

- Parasuraman, R., Warm, J. S., & See, J. E. (1998). Brain Systems of Vigilance. In R. Parasuraman (Ed.), *The Attentive Brain* (pp. 221-256). Londres: MIT Press.
- Pardo, J. V., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1991). Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature*, 349(6304), 61-64.
- Park, N. W., & Ingles, J. L. (2001). Effectiveness of attention rehabilitation after an acquired brain injury: A meta-analysis. *Neuropsychology*, 15(2), 199-210.
- Park, N. W., Moscovitch, M., & Robertson, I. H. (1999a). Divided attention impairments after traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, 37(10), 1119-1133.
- Park, N. W., Proulx, G.-B., & Towers, W. M. (1999b). Evaluation of the Attention Process Training programme. *Neuropsychological Rehabilitation: An International Journal*, 9(2), 135 - 154.
- Pettitt, M. A., & Burnett, G. E. (2005). Defining Driving Distraction. Paper presented at the World Congress on Intelligent Transport System, San Francisco.
- Ponsford, J., & Kinsella, G. (1988). Evaluation of a remedial programme for attentional deficits following closed-head injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 10(6), 693-708.
- Ponsford, J., & Kinsella, G. (1992). Attentional deficits following closed-head injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 14(5), 822-838.
- Ponsford, J., Olver, J. H., & Curran, C. (1995). A profile of outcome: 2 years after traumatic brain injury. *Brain Injury*, 9(1), 1-10.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391-408.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M. I., & Rafal, R. D. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In M. J. Meier, A. L. Benton & L. Diller (Eds.), *Neuropsychological Rehabilitation*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Posner, M. I., Walker, J., Friedrich, F., & Rafal, R. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *J. Neurosci.*, 4(7), 1863-1874.
- Prigatano, G. P., Fordyce, D. J., Zeiner, H. K., Roueche, J. R., Pepping, M., & Wood, B. C. (1984). Neuropsychological rehabilitation after closed head injury in young adults. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 47, 505-513.
- Quintard, B., Croze, P., Mazaux, J. M., Rouxel, L., Joseph, P. A., Richer, E., et al. (2002). Satisfaction de vie et devenir psychosocial des traumatisés crâniens graves en Aquitaine. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 45(8), 456-465.
- Radford, K. A., Lincoln, N. B., & Murray-Leslie, C. (2004). Validation of the stroke driver screening assessment for people with traumatic brain injury. *Brain Injury*, 18(8), 775-786.
- Rapport, L. J., Hanks, R. A., & Bryer, R. C. (2006). Barriers to driving and community integration after traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 21(1), 34-44.
- Raven, J. C. (1941). Standardisation of Progressive Matrices, 1938. *British Journal of Medical Psychology*, XIX(1), 137-150.
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test and indication of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*, 9, 127-130.
- Ries, M., & Marks, W. (2005). Selective attention deficits following severe closed head injury: The role of inhibitory processes. *Neuropsychology*, 19(4), 476-483.

- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., Humphrey, L. A., Neumann, U., Rooyen, A. v., et al. (2001a). The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *Revista Espanola de Neupsicologia*, 3(3), 11-37.
- Rizzo, A. A., Schultheis, M. T., Kerns, K. A., & Mateer, C. A. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14(1&2), 207-239.
- Rizzo, M., McGehee, D. V., Dawson, J. D., & Anderson, S. N. (2001b). Simulated car crashes at intersections in drivers with alzheimer disease. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 15(1), 10-20.
- Robertson, I. H. (2002). La revalidation de l'attention. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 257-275). Marseille: Solal.
- Robertson, I. H., & Murre, J. M. J. (1999). Rehabilitation of brain damage: Brain plasticity and principles of guided recovery. *Psychological Bulletin*, 125(5), 544-575.
- Roenker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K. K., Wadley, V. G., & Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors*, 45(2), 218-233.
- Rohling, M. L., Faust, M. E., Beverly, B., & Demakis, G. (2009). Effectiveness of cognitive rehabilitation following acquired brain injury: A meta-analytic re-examination of Cicerone et al.'s (2000, 2005) systematic reviews. *Neuropsychology*, 23(1), 20-39.
- Rombaut, S., Petit, F., & Thévenon, A. (2000). Evaluation sur simulateur de conduite. In M. Enjalbert & C. Fattal (Eds.), *Conduite Automobile et Handicap* (pp. 55-59). Paris: Masson.
- Rose, F. D., Brooks, B. M., & Rizzo, A. A. (2005). Virtual reality in brain damage rehabilitation: Review. *CyberPsychology & Behavior*, 8(3), 241-262.
- Rossetti, Y., Rode, G., Pisella, L., Farne, A., Li, L., Boisson, D., et al. (1998). Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature*, 395(6698), 166-169.
- Rousseaux, M., Cabaret, M., & Bernati, T. (2002). Evaluation clinique et écologique de l'attention. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 75-101). Marseille: Solal.
- Rousseaux, M., Cabaret, M., Bernati, T., Saj, A., & Kozlowski, O. (2006). Interactions entre attention et fonctions exécutives. In P. Pradat-Diehl, P. Azouvi & V. Brun (Eds.), *Fonctions Exécutives et Rééducation*. Paris: Masson.
- Rugg, M. D., Cowan, C. P., Nagy, M. E., Milner, A. D., Jacobson, I., & Brooks, D. N. (1989). C.N.V abnormalities following closed head injury. *Brain*, 112(2), 489-506.
- Sablier, J., Stip, E., & Franck, N. (2009). Remédiation cognitive et assistants cognitifs numériques dans la schizophrénie. *L'Encéphale*, 35(2), 160-167.
- Schanke, A.-K., & Sundet, K. (2000). Comprehensive driving assessment: Neuropsychological testing and on-road evaluation of brain injured patients. *Scandinavian Journal of Psychology*, 41, 113-121.
- Schultheis, M. T., Hillary, F., & Chute, D. L. (2003). The Neurocognitive Driving Test: Applying technology to the assessment of driving ability following brain injury. *Rehabilitation Psychology*, 48(4), 275-280.
- Schultheis, M. T., Matheis, R. J., Nead, R., & DeLuca, J. (2002). Driving behaviors following brain injury: Self-report and motor vehicle records. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(1), 38-47.
- Schultheis, M. T., Rebimbas, J., Mourant, R., & Millis, S. R. (2007). Examining usability of a virtual reality driving simulator. *Assistive Technology*, 19, 1-8.

- Schultheis, M. T., & Rizzo, A. A. (2001). The Application of Virtual Reality Technology in Rehabilitation. *Rehabilitation Psychology*, 46(3), 296-311.
- Seron, X. (2000). L'évaluation de l'efficacité des traitements. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de Neuropsychologie Clinique* (Vol. II, pp. 39-62). Marseille: Solal.
- Seron, X., & Partz, M.-P. (1997). L'efficacité des traitements neuropsychologiques : remarques de méthodes. In F. Eustache, J. Lambert & F. Viader (Eds.), *Rééducations neuropsychologiques* (pp. 303-329). Bruxelles: De Boeck.
- Seron, X., Rossetti, Y., Vallat-Azouvi, C., Pradat-Diehl, P., & Azouvi, P. (2008). La rééducation cognitive. *Revue Neurologique*, 164(Supplement 3), S154-S163.
- Seron, X., & Van der Linden, M. (2000). Objectifs et stratégies de la revalidation neuropsychologique. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de Neuropsychologie Clinique* (Vol. II, pp. 9-16). Marseille: Solal.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing. II: Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Shinar, D. (1978). *Psychology on the road: The human factor in traffic safety*. New-York: Wiley.
- Sichez, J.-P., & Faillot, F. (1995). Physiopathologie des traumatismes crâniens graves. In C. Bergego & P. Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie des Traumatismes Crâniens Graves de l'Adulte* (pp. 3-11). Paris: Frison-Roche.
- Siéroff, E. (1994). Les mécanismes attentionnels. In X. Seron & M. Jeannerod (Eds.), *Neuropsychologie Humaine* (pp. 127-151). Liège: Mardaga.
- Siéroff, E. (2002). Sélection et préparation attentionnelle en neuropsychologie. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (pp. 27-40). Marseille: Solal.
- Signoret, J. L., Allard, M., Benoit, N., Bonvarlet, M., & Eustache, F. (1989). Evaluation des troubles de mémoire et des désordres cognitifs associés. BEC 96. Paris: Fondation IPSEN.
- Simms, B. (1985). Perception and driving: Theory and practice. *British Journal of Occupational Therapy*, 48, 363-366.
- Simpson, A., & Schmitter-Edgecombe, M. (2000). Intactness of inhibitory attentional mechanisms following severe closed-head injury. *Neuropsychology*, 14(2), 310-319.
- Sivak, M., Hill, C. S., Henson, D. L., Butler, B. P., Silber, S. M., & Olson, P. L. (1984a). Improved driving performance following perceptual training in persons with brain damage. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 65, 163-167.
- Sivak, M., Hill, C. S., & Olson, P. L. (1984b). Computerized video tasks as training techniques for driving-related perceptual deficits of persons with brain damage: A pilot evaluation. *Int. J. Rehab. Research*, 7(4), 389-398.
- Sohlberg, M. M., Avery, J., Kennedy, M., Ylvisaker, M., Coelho, C., Turkstra, L., et al. (2003). Practice guidelines for direct attention training. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 11(3), 19-39.
- Sohlberg, M. M., & Mateer, C. A. (1987). Effectiveness of an Attention-Training Program. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 9(2), 117-130.
- Stablum, F., Leonardi, G., Mazzoldi, M., Umilta, C., & Morra, S. (1994). Attention and control deficits following closed-head injury. *Cortex*, 30(4), 603-618.
- Strayer, D. L., Drews, F. A., & Johnston, W. A. (2003). Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(1), 23-32.

- Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12(6), 462-466.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Strypstein, E., Van Weerst, M., & Baten, G. (2000). Evaluation de l'aptitude à la conduite après une lésion cérébrale : aspects neuropsychologiques. La pratique du CARA. In M. Enjalbert & C. Fattal (Eds.), *Conduite Automobile et Handicap* (pp. 87-93). Paris: Masson.
- Sturm, W. (1999). Rééducation des troubles de l'attention. In P. Azouvi, D. Perrier & M. Van der Linden (Eds.), *La Rééducation en Neuropsychologie : étude de cas* (pp. 125-137). Marseille: Solal.
- Sturm, W., & Leclercq, M. (2000). La revalidation des troubles de l'attention. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de Neuropsychologie Clinique* (Vol. II, pp. 63-80). Marseille: Solal.
- Sturm, W., Longoni, F., Weis, S., Specht, K., Herzog, H., Vohn, R., et al. (2004). Functional reorganisation in patients with right hemisphere stroke after training of alertness: A longitudinal PET and fMRI study in eight cases. *Neuropsychologia*, 42(4), 434-450.
- Sturm, W., Willmes, K., & Orgass, B. (1997). Do specific attention deficits need specific training? *Neuropsychological Rehabilitation*, 7(2), 81-103.
- Stutts, J. C., Stewart, J. R., & Martell, C. (1998). Cognitive test performance and crash risk in an older driver population. *Accident Analysis & Prevention*, 30(3), 337-346.
- Teasdale, G., & Jennett, B. (1974). Assessment of coma and impaired consciousness: A Practical Scale. *The Lancet*, 304(7872), 81-84.
- Thiffault, P., & Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: A simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 381-391.
- Tiret, L., Hausherr, E., Thicoipe, M., Garros, B., Maurette, P., Castel, J.-P., et al. (1990). The epidemiology of head trauma in Aquitaine (France), 1986: A community-based study of hospital admissions and deaths. *International Journal of Epidemiology*, 19(1), 133-140.
- Treisman, A. M. (1964). Verbal cues, language and meaning of selective attention. *American Journal of Psychology*, 77, 206-219.
- Tricot Le Mestric, L., Le Thiec, F., Jokic, C., Jahier-Martiens, E., Picard, F., Prime, N., et al. (2000). Traumatisme crânien grave et conduite automobile. In M. Enjalbert & C. Fattal (Eds.), *Conduite Automobile et Handicap* (pp. 93-99). Paris: Masson.
- Twamley, E. W., Jeste, D. V., & Bellack, A. S. (2003). A Review of Cognitive Training in Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 29(2), 359-382.
- Vakil, E., Weisz, H., Jedwab, L., Groswasser, Z., & Aberbuch, S. (1995). Stroop color-word task as a measure of selective attention: Efficiency in closed-head-injured patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(3), 335-342.
- Van der Linden, M. (1995). Prise en charge des déficits mnésiques chez les patients Alzheimer. In F. Eustache & A. Agniel (Eds.), *Neuropsychologie des Démences : évaluations et prises en charge* (pp. 267-282). Marseille: Solal.
- Van der Linden, M., & Collette, F. (2002). Attention et mémoire de travail. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni & P. Azouvi (Eds.), *La Neuropsychologie de l'Attention*. Marseille: Solal.
- Van Zomeren, A. H. (1995). Attentional disorders after severe closed head injury (CHI). In C. Bergego & P. Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie des Traumatismes Crâniens Graves de l'Adulte* (pp. 133-146). Paris: Frison-Roche.

- Van Zomeren, A. H., & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical Neuropsychology of Attention*. New York: Oxford University Press.
- Van Zomeren, A. H., Brouwer, W. H., & Minderhoud, J. M. (1987). Acquired brain damage and driving: A review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 68, 697-705.
- Van Zomeren, A. H., Brouwer, W. H., Rothengatter, J. A., & Snoek, J. W. (1988). Fitness to drive a car after recovery from severe head injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69, 90-96.
- Van Zomeren, A. H., & Van den Burg, W. (1985). Residual complaints of patients two years after severe head injury. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 48, 21-28.
- Vilkki, J., Virtanen, S., Surma-Aho, O., & Servo, A. (1996). Dual task performance after focal cerebral lesions and closed head injuries. *Neuropsychologia*, 34, 1051-1056.
- Weshler, D. (1997). *Weshler Adult Intelligence Scale - III (WAIS-III)*. San Antonio: Psychological Corporation.
- Whyte, J. (2003). Clinical trials in rehabilitation: What are the obstacles? *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(10 Suppl.), S16-S21.
- Whyte, J. (2006). Using treatment theories to refine the designs of brain injury rehabilitation treatment effectiveness studies. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 21(2), 99-106.
- Whyte, J., Polansky, M., Fleming, M., Coslett, H. B., & Cavallucci, C. (1995). Sustained arousal and attention after traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, 33(7), 797-813.
- Withaar, F. K. (2000). *Divided attention and driving: The effects of aging and brain injury*. Unpublished Ph.D. dissertation, Rijksuniversiteit, Groningen.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1), 121-134.
- Ziino, C., & Ponsford, J. (2006). Selective attention deficits and subjective fatigue following traumatic brain injury. *Neuropsychology*, 20(3), 383-390.
- Zimmermann, P., & Fimm, B. (1994). *Tests d'Evaluation de l'Attention (TEA) (Version française de North P., Leclercq M., Crémel N., Tassi P. & Jeromin D.): Psytest*.
- Zoccolotti, P., Matano, A., Deloche, G., Cantagallo, A., Passadori, A., Leclercq, M., et al. (2000). Patterns of Attentional Impairment Following Closed Head Injury: A Collaborative European study. *Cortex*, 36(1), 93-107.

## **ANNEXES**



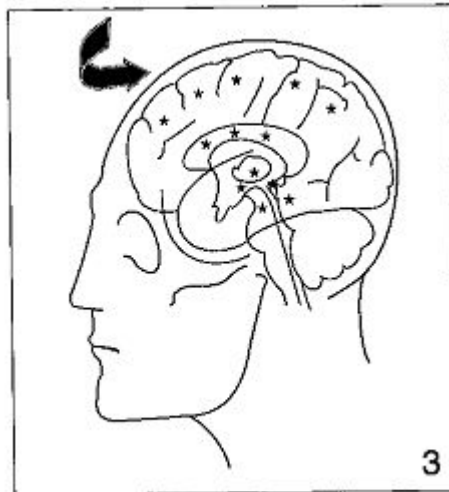
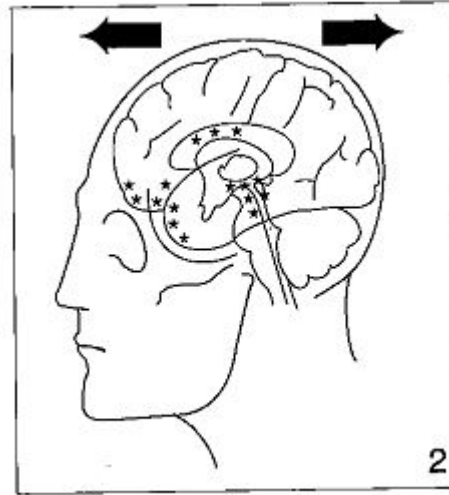
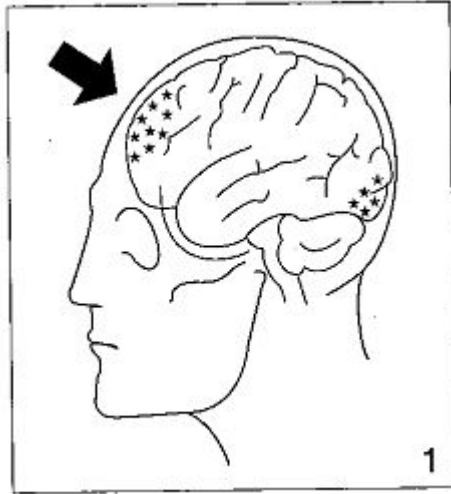


## **TABLES DES MATIÈRES DES ANNEXES**

ANNEXE 1 : Schéma des lésions primaires .....	273
ANNEXE 2 : Schéma des principales lésions cérébrales traumatiques .....	274
ANNEXE 3 : Dimensions de l'attention, paradigmes ou tâches et réseaux fonctionnels correspondants.....	275
ANNEXE 4 : Arrêté du 21 décembre 2005.....	276
ANNEXE 5 : Démarche pour l'obtention d'un permis aménagé.....	280
ANNEXE 6 : Formulaire de consentement .....	281
ANNEXE 7 : Questionnaire d'anosognosie .....	283
ANNEXE 8 : Configuration des écrans du simulateur de conduite .....	284
ANNEXE 9 : Consignes pour la prise en main sur simulateur de conduite.....	285
ANNEXE 10 : Consignes pour l'évaluation sur simulateur de conduite (parcours 1 : situation péri-urbaine) .....	286
ANNEXE 11 : Grilles d'observation de la conduite .....	287
ANNEXE 12 : Consignes pour l'évaluation sur simulateur de conduite (parcours 2 : situation urbaine).....	289
ANNEXE 13 : Discussion parcours 2 (tâche d'attention divisée) .....	290
ANNEXE 14 : Évaluation sur route partie intra-muros .....	291
ANNEXE 15 : Grille TRIP .....	292
ANNEXE 16 : Consignes de passation pour le training simulateur .....	296
ANNEXE 17 : Obstacles utilisés pour la tâche de training d'alerte phasique.....	298
ANNEXE 18 : Training simulateur attention divisée : exemple de tâche de calcul mental .	299
ANNEXE 19 : Architecture du simulateur de conduite .....	300
ANNEXE 20 : Plan expérimental .....	301
ANNEXE 21 : Résultats de l'analyse de groupe des patients traumatisés crâniens lors du training sur simulateur de conduite.....	306



**ANNEXE 1 : SCHÉMA DES LÉSIONS PRIMAIRES  
(SICHEZ & FAILLOT, 1995, P.5)**

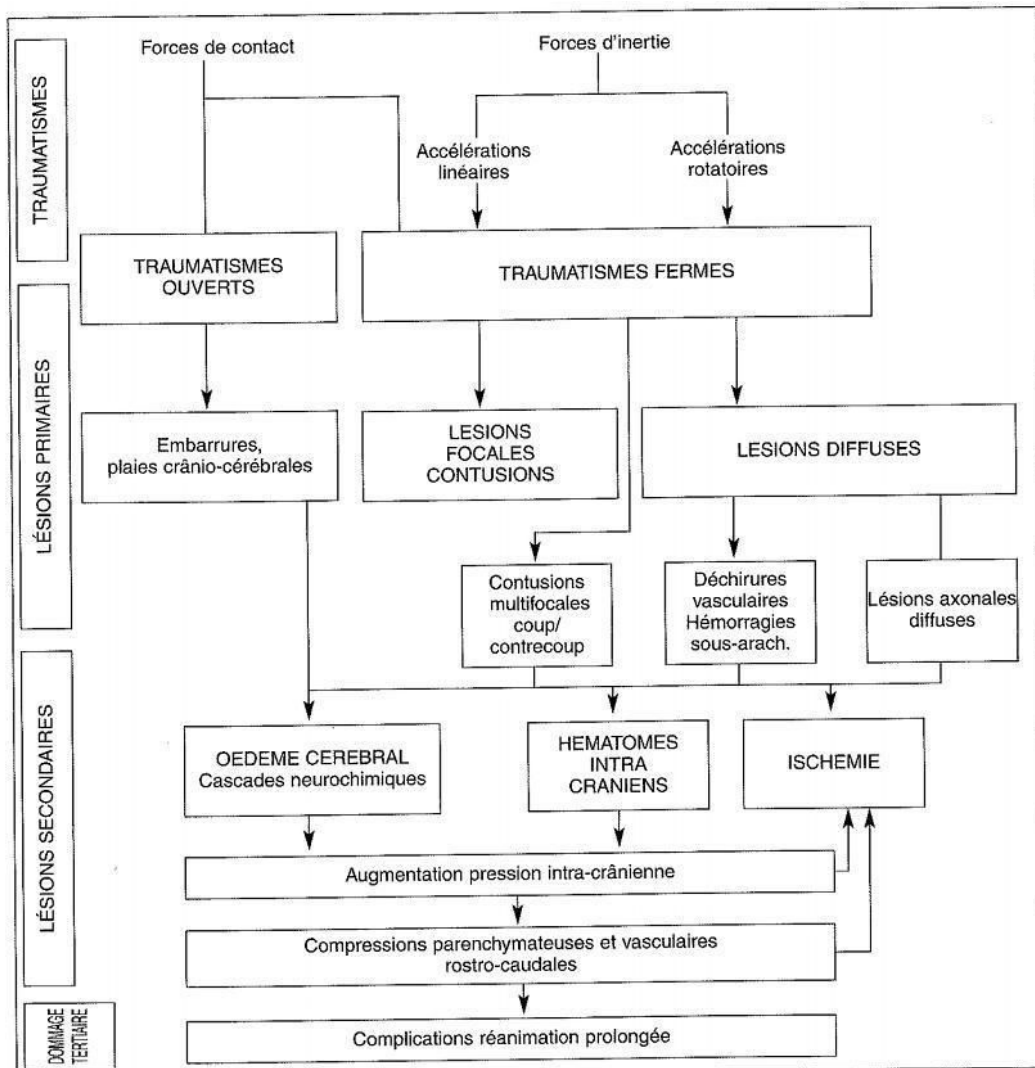


**Figure 1 :** *impact direct de la tête, impact frontal (flèche). Lésion encéphalique frontale en regard de l'impact. Lésion encéphalique focale occipitale (de contre-coup)*

**Figure 2 :** *accélération/décélération linéaire. Lésions focales frontotemporales et lésions diffuses de cisaillement*

**Figure 3 :** *accélération/décélération rotatoire*

**ANNEXE 2 : SCHÉMA DES PRINCIPALES LÉSIONS CÉRÉBRALES  
TRAUMATIQUES (MAZAUX & JOSEPH, 2000, P.32)**



**Figure 1 :** Schéma des principales lésions cérébrales traumatiques.

**ANNEXE 3 : DIMENSIONS DE L'ATTENTION, PARADIGMES OU TÂCHES ET RÉSEAUX FONCTIONNELS CORRESPONDANTS (STURM, 1999, P. 128)**

DIMENSION	DOMAINE	PARADIGME OU TÂCHE	RÉSEAUX FONCTIONNELS
Intensité	<b>Alerte</b> (tonique ou phasique)	Temps de réaction simple sans (tonique) ou avec (phasique) stimulus d'alerte	Formation réticulée du tronc cérébral, le gyrus cingulaire antérieur, cortex préfrontal dorsolatéral et inféropariétal de l'hémisphère droit
	<b>Attention soutenue</b>	Tâches simples de longue durée, détection de modifications subtiles dans l'information présentée, fréquence élevée de survenue des stimuli	
	<b>Vigilance</b>	Tâches simples de longue durée avec stimuli cibles de fréquence de survenue faible	
Sélectivité	<b>Attention focalisée</b>	Tâches de temps de réaction de choix, tâches distractrices	Cortex orbitofrontal de l'hémisphère gauche, connexions fronto-thalamiques du noyau réticulaire du thalamus
	<b>Attention sélective visuo-spatiale</b>	Tâches demandant des déplacements de l'attention d'une localisation spatiale à une autre	Cortex postérieur pariétal, colliculus supérieur et pulvinar du thalamus
	<b>Attention divisée</b>	Tâches demandant le partage ou la division des capacités attentionnelles entre une ou plusieurs sources d'informations (ex : paradigmes de double tâche), tâche de flexibilité mentale (passage d'une modalité à une autre)	Cortex préfrontal, hémisphère droit

## ANNEXE 4 : ARRÊTÉ DU 21 DECEMBRE 2005

CLASSE IV : PRATIQUES ADDICTIVES - NEUROLOGIE - PSYCHIATRIE		
<p>Les affections pouvant exposer un candidat ou conducteur, à la délivrance ou au renouvellement d'un permis de conduire, à une défaillance d'ordre neurologique ou psychiatrique de nature à provoquer une altération subite des fonctions cérébrales constituent un danger pour la sécurité routière. La plus grande vigilance est recommandée étant donné l'importance et la gravité du problème en matière de sécurité routière. Si nécessaire, avoir recours à un avis spécialisé en vue de soins spécifiques.</p>		
4.1 Pratiques addictives	4.1.1 : Abus d'alcool ou usage nocif et dépendance	<p>Incompatibilité durant la période d'alcoolisation. Avant autorisation de reprise de la conduite, réévaluation obligatoire par la commission médicale qui statue au vu de l'ensemble des éléments cliniques et/ou biologiques et, selon les cas, après avis spécialisé. Appréciation des modifications du comportement d'alcoolisation sur les éléments médicaux présentés : période probatoire d'un an. En cas de récurrence, modulation de la périodicité des visites médicales avec raccourcissement des échéances à l'appréciation de la commission médicale, à l'issue de la période d'observation. En cas de dépendance forte avec signes de dépendance physique, témoignant d'une alcoolisation régulière, une incompatibilité peut être prononcée pendant une période de durée suffisante pour obtenir une capacité médicale compatible avec les exigences de la sécurité routière.</p>
	4.1.2 : Consommation régulière ou dépendance aux drogues. Mésusage de médicaments*	<p>Incompatibilité en cas d'état de dépendance vis-à-vis des substances psychotropes ou en cas d'abus ou de consommation de telles substances sans justification thérapeutique. Recours possible à des examens biologiques (détection ou dosage de produits) Aptitude temporaire de 6 mois à un an, renouvelable pendant 2 ans. Ultérieurement, modulation de la périodicité des visites médicales avec limitation de la durée d'aptitude à l'appréciation de la commission médicale.</p>
4.2 Médicaments susceptibles d'altérer la capacité de conduite ou le comportement des conducteurs (cf. 4.3)		<p>Incompatibilité en cas de consommation de médicaments susceptibles d'altérer la capacité de conduite ou le comportement des conducteurs, quand la nature du produit ou la quantité absorbée entraînent un risque pour la conduite. En cas de consommation régulière, un avis spécialisé sera demandé, en tenant compte des autres éléments d'aptitude médicale. L'évaluation des capacités médicales à la conduite, en cas de prescription de traitements de substitution à des états de dépendance, nécessite l'avis de la commission médicale (cf. arrêté du 18 juillet 2005).</p>
4.3 Troubles du sommeil	4.3.1 : Somnolence excessive d'origine comportementale, organique, psychiatrique ou iatrogène	<p>La reprise de la conduite pourra avoir lieu 1 mois après l'évaluation de l'efficacité thérapeutique (pression positive continue, chirurgie, prothèse, drogues éveillantes...). Cette reprise sera proposée à l'issue du bilan spécialisé (voir préambule).</p> <p>Compatibilité temporaire de 1 an.</p> <p>Incompatibilité tant que persiste une somnolence malgré le traitement. Nécessité de l'avis du médecin ayant pris en charge le traitement de la somnolence, qui décidera des investigations nécessaires.</p>
	4.3.2 : Insomnie d'origine comportementale, organique,	<p>La reprise de la conduite pourra avoir lieu 2 semaines après disparition de toute somnolence et constat clinique de</p>

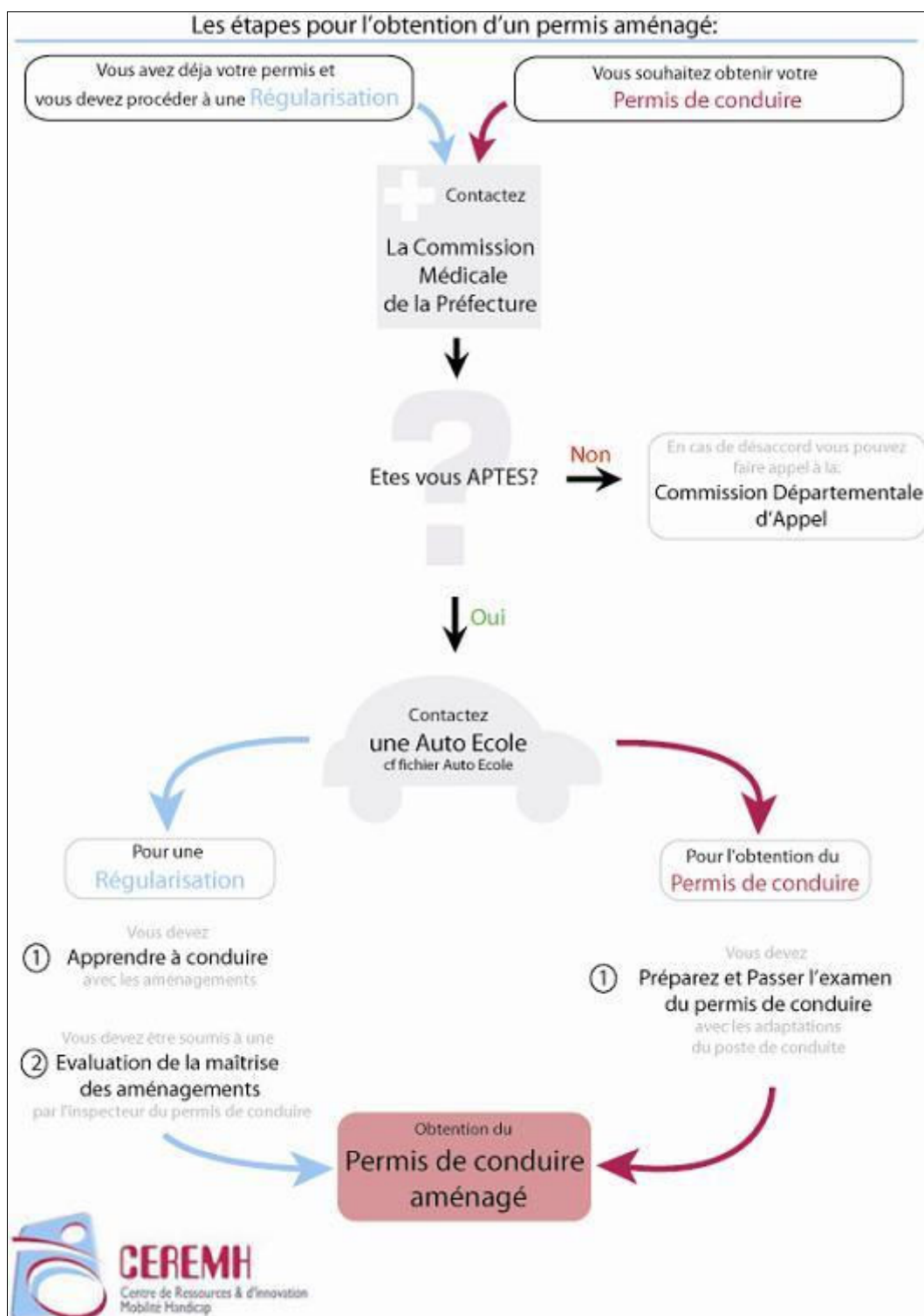
	psychiatrique ou iatrogène entraînant une somnolence excessive	l'efficacité thérapeutique (voir préambule).  Compatibilité temporaire de 1 an.  Incompatibilité tant que persiste une somnolence malgré le traitement. Nécessité de l'avis du médecin ayant pris en charge le traitement de la somnolence, qui décidera des investigations nécessaires.
4.4 Troubles neurologiques, comportementaux et cognitifs	Les troubles neurologiques, comportementaux, cognitifs ou les troubles de la sénescence, dus à des affections, des opérations du système nerveux central ou périphérique, extériorisés par des signes moteurs, sensitifs, sensoriels, trophiques, perturbant l'équilibre et la coordination, seront envisagés en fonction des possibilités fonctionnelles.	
	4.4.1 : Troubles permanents de la coordination, de la force et du contrôle musculaire	Incompatibilité temporaire.  Un avis médical est préalable à toute reprise de la conduite.  Compatibilité temporaire : 1 an après avis spécialisé, test d'évaluation des capacités cognitives et comportementales, test de conduite.
	4.4.2 : Troubles cognitifs et psychiques	Compatibilité selon l'évaluation neurologique ou gériatrique.  Incompatibilité en cas de démence documentée, après avis spécialisé si nécessaire.
4.5 <b>Traumatisme crânien</b>		Dans tous les cas, le problème posé est celui des séquelles neurologiques. (cf. 4.4, 4.7, 5.1 et 5.2)  Avis du spécialiste qui tiendra compte de l'importance des lésions, des signes cliniques, des différents examens paracliniques et du traitement envisagé.
4.6  Epilepsie : Les crises d'épilepsie ou autres perturbations brutales de l'état de conscience constituent un danger grave pour la sécurité routière lorsqu'elles surviennent lors de la conduite d'un véhicule à moteur.  Une personne est considérée comme épileptique lorsqu'elle subit deux crises d'épilepsie ou plus en moins de cinq ans. Une crise d'épilepsie provoquée est définie comme une crise déclenchée par un facteur causal identifiable qui peut être évité.  Une personne qui est victime d'une crise initiale ou isolée ou d'une perte de conscience doit être dissuadée de prendre le volant. Un spécialiste doit produire un rapport mentionnant la durée de l'interdiction de conduite et le suivi requis.  Il est extrêmement important que le syndrome épileptique spécifique et le type de crise de la personne concernée soient identifiés afin de pouvoir entreprendre une évaluation correcte de la sécurité de conduite de cette personne (y compris du risque de nouvelles crises) et de pouvoir mettre en place le traitement.		4.6.1 Le permis de conduire d'un conducteur du groupe 1 considéré comme épileptique fait l'objet d'un examen médical périodique tant que le conducteur n'est pas restée cinq ans sans faire de crise. En revanche, après une période de cinq ans sans crise, la délivrance d'un permis de conduire sans limitation de durée de validité pour raison médicale, peut être envisagée. Si une personne souffre d'épilepsie, elle ne satisfait pas aux critères permettant d'obtenir un permis inconditionnel. Une notification est fournie à l'autorité délivrant les permis.  4.6.2 Crise d'épilepsie provoquée : le candidat ayant été victime d'une crise d'épilepsie provoquée par un facteur causal identifiable qui est peu susceptible de se reproduire au volant peut être déclaré apte à la conduite cas par cas, après avis d'un neurologue : l'évaluation est faite, le cas échéant, conformément aux autres sections pertinentes de la présente annexe (relatives, par exemple, à l'alcool et à d'autres facteurs de morbidité).  4.6.3 Première crise non provoquée ou crise unique : le candidat ayant été victime d'une première crise d'épilepsie non provoquée peut être déclaré apte à la conduite après une période de six mois sans aucune crise, à condition qu'un examen médical approprié ait été effectué. Les conducteurs dont les indicateurs pronostiques sont bons peuvent être autorisés à conduire plus tôt, c'est-à-dire avant l'expiration ce

	<p>cette période de six mois, après un avis médical approprié.</p> <p>4.6.4 Autre perte de conscience : la perte de conscience doit être évaluée en fonction du risque de récurrence lors de la conduite.</p> <p>4.6.5 Épilepsie déclarée : les conducteurs ou candidats peuvent être déclarés aptes à la conduite après une année sans crise.</p> <p>4.6.6 Crises survenant exclusivement durant le sommeil : le candidat ou conducteur qui n'a des crises que pendant son sommeil peut être déclaré apte à la conduite si ce schéma de crises est observé durant une période ne pouvant être inférieure à la période sans crise requise pour l'épilepsie. Si le candidat ou conducteur est victime d'attaques/de crises lorsqu'il est éveillé, une période d'une année sans nouvelle crise est requise avant que le permis puisse être délivré (voir "épilepsie").</p> <p>4.6.7 Crises sans effet sur la conscience ou la capacité d'action : le candidat ou conducteur qui subit exclusivement des crises n'affectant pas sa conscience et ne causant pas d'incapacité fonctionnelle peut être déclaré apte à la conduite si ce schéma de crises est observé durant une période ne pouvant être inférieure à la période sans crise requise pour l'épilepsie. Si le candidat ou conducteur est victime d'attaques/de crises d'un autre genre, une période d'une année sans nouvelle crise est requise avant que le permis puisse être délivré (voir "épilepsie").</p> <p>4.6.8 Crises dues à une modification ou à l'arrêt du traitement antiépileptique ordonné par un médecin : il peut être recommandé au patient de ne pas conduire pendant six mois à compter de l'arrêt du traitement. Si, après une crise survenant alors que le traitement médicamenteux a été modifié ou arrêté sur avis du médecin, le traitement efficace précédemment suivi est réintroduit, le patient doit cesser de conduire pendant trois mois.</p> <p>4.6.9 Après une opération chirurgicale visant à soigner l'épilepsie: voir "Épilepsie".</p>	
<p>4.7 Accidents vasculaires cérébraux (cf. 5.4)</p>	<p>4.7.1 : Hémorragiques et malformations vasculaires (anévrismes, angiomes)</p>	<p>Incompatibilité temporaire selon la nature du déficit (cf. 4.4.1 ; 2.1.2). Avis spécialisé.</p>
	<p>4.7.2 : Accidents ischémiques transitoires</p>	<p>Incompatibilité temporaire. Avis médical préalable à toute reprise de la conduite ; compatibilité temporaire : 1 an.</p>
	<p>4.7.3 : Infarctus cérébral</p>	<p>Incompatibilité temporaire selon la nature du déficit (cf. 4.4.1 ; 2.1.2).</p> <p>Avis spécialisé si nécessaire.</p>
<p>4.8 Psychose aiguë et chronique</p>		<p>Incompatibilité en cas de manifestations cliniques pouvant interférer avec la conduite automobile.</p> <p>Compatibilité temporaire éventuelle en cas de rémission confirmée par des examens régulièrement renouvelés (voir 4.2). Avis spécialisé nécessaire qui s'appuiera sur les</p>



		indications du médecin traitant. Tout trouble mental ayant entraîné une hospitalisation d'office nécessite l'avis du psychiatre agréé, autre que celui qui soigne le sujet, préalablement au passage de l'intéressé devant la commission médicale.
4.9 Pathologie interférant sur la capacité de socialisation	4.9.1 : Analphabétisme	Avis spécialisé en cas d'incapacité d'apprendre à lire par insuffisance psychique (et non par illettrisme).
	4.9.2 : Déficience mentale majeure, altération majeure des capacités de socialisation.	Avis spécialisé.

## ANNEXE 5 : DÉMARCHE POUR L'OBTENTION D'UN PERMIS AMÉNAGÉ



## ANNEXE 6 : FORMULAIRES DE CONSENTEMENT

### 1- Formulaire destiné aux personnes bénéficiant du training sur simulateur de conduite

<b>FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ</b> (Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le directeur de la recherche)	
<b>RÉADAPTATION DES PROCESSUS ATTENTIONNELS CHEZ DES TRAUMATISÉS CRÂNIENS : APPLICATION A LA CONDUITE AUTOMOBILE</b>	
De M, Mme, Mlle ..... (Nom, Prénom)	
Adresse : .....	
<p>J'ai été invité(e) à participer à une étude réalisée par l'INRETS concernant la réadaptation des habiletés de conduite. J'ai été libre d'accepter ou de refuser.</p> <p>J'ai reçu et compris les informations suivantes : je vais effectuer plusieurs tâches sur papier ou sur ordinateur avec un expérimentateur qui me donnera des consignes au fur et à mesure. Puis, je vais effectuer un programme de réadaptation sur un simulateur de conduite, au cours duquel je vais conduire et où plusieurs tâches me seront proposées, comme réagir lors de l'apparition de certains panneaux placés au bord de la route, faire attention aux obstacles, ou encore, conduire dans une ville (virtuelle) et suivre les indications de l'expérimentateur. Enfin, je réaliserais une conduite sur route avec un moniteur auto-école.</p> <p>Les instructions de détail, concernant le déroulement du test, me seront fournies lors de celui-ci, par les personnes qui le mettront en œuvre. Le but de cette étude est d'améliorer certains processus cognitifs pour pouvoir reprendre la conduite de manière plus sécuritaire. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par les expérimentateurs. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci.</p>	
<b>J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.</b>	
<p>Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude, son collaborateur ou toute autre personne avec qui je serai amené à être en contact au cours de cette recherche.</p> <p>Cette recherche est organisée dans le cadre de la loi N°2004-801 du 9 Août 2004 relative aux comités de protection des personnes (CPP). Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par la loi « informatique et liberté » du 6 Janvier 1978 modifié par la loi du 1<sup>er</sup> Juillet 1994 relative aux fichiers informatiques et aux libertés, est applicable à tout moment. Je pourrai demander toute information complémentaire au médecin investigateur ou à toute autre personne avec qui je serai amené à être en contact au cours de cette recherche.</p>	
<b>Cette étude n'est pas un examen de conduite. Les résultats recueillis ne seront pas transmis aux autorités administratives.</b>	
<p>Je percevrai une indemnité forfaitaire de 150 €, en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche. Dans le cas où je demanderais à mettre fin à ma participation avant la fin de l'expérimentation, mon indemnisation serait calculée <b>au prorata</b> de la durée de ma participation.</p>	
<p>La participation à cette recherche implique de ma part l'acceptation de ne pas participer à une autre recherche biomédicale pendant une période de 1 mois à compter de la fin de ma participation à ladite recherche.</p>	
J'ai expliqué la nature et les contraintes de cette étude à M (Mme ou Mlle) .....	Signature du volontaire
<b>Le directeur de la recherche</b> (Précédée de la date manuscrite)	(Précédée de la date manuscrite)

## 2- Formulaire destiné aux personnes bénéficiant du training sur ordinateur

<b>FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ</b> (Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le directeur de la recherche)	
<b>RÉADAPTATION DES PROCESSUS ATTENTIONNELS POUR UNE POPULATION DE TRAUMATISÉS CRÂNIENS : APPLICATION A LA CONDUITE AUTOMOBILE</b>	
De M, Mme, Mlle ..... (Nom, Prénom)	
Adresse : .....	
<p>J'ai été invité(e) à participer à une étude réalisée par l'INRETS concernant la réadaptation des habiletés de conduite. J'ai été libre d'accepter ou de refuser.</p> <p>J'ai reçu et compris les informations suivantes : je vais effectuer plusieurs tâches sur papier ou sur ordinateur avec un expérimentateur qui me donnera des consignes au fur et à mesure. Puis, je vais effectuer un programme de réadaptation sur un ordinateur, au cours duquel plusieurs tâches me seront proposées, comme réagir le plus rapidement possible en appuyant sur un bouton-réponse lors de l'apparition de certains stimulus, être attentif sur une longue durée, ou encore, effectuer deux tâches simultanément. Enfin, je réaliserai une conduite sur route avec un moniteur auto-école.</p> <p>Les instructions de détail, concernant le déroulement du test, me seront fournies lors de celui-ci, par les personnes qui le mettront en œuvre. Le but de cette étude est d'améliorer certains processus cognitifs pour pouvoir reprendre la conduite de manière plus sécuritaire. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par les expérimentateurs. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci.</p>	
<b>J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.</b>	
<p>Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude, son collaborateur ou toute autre personne avec qui je serai amené à être en contact au cours de cette recherche.</p> <p>Cette recherche est organisée dans le cadre de la loi N°2004-801 du 9 Août 2004 relative aux comités de protection des personnes (CPP). Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par la loi « informatique et liberté » du 6 Janvier 1978 modifié par la loi du 1<sup>er</sup> Juillet 1994 relative aux fichiers informatiques et aux libertés, est applicable à tout moment. Je pourrai demander toute information complémentaire au médecin investigateur ou à toute autre personne avec qui je serai amené à être en contact au cours de cette recherche.</p>	
<b>Cette étude n'est pas un examen de conduite. Les résultats recueillis ne seront pas transmis aux autorités administratives.</b>	
<p>Je percevrai une indemnité forfaitaire de <b>150 €</b>, en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche. Dans le cas où je demanderais à mettre fin à ma participation avant la fin de l'expérimentation, mon indemnisation serait calculée <b>au prorata</b> de la durée de ma participation.</p> <p>La participation à cette recherche implique de ma part l'acceptation de ne pas participer à une autre recherche biomédicale pendant une période de 1 mois à compter de la fin de ma participation à ladite recherche.</p>	
J'ai expliqué la nature et les contraintes de cette étude à M (Mme ou Mlle) .....	
<b>Le directeur de la recherche</b> (Précédée de la date manuscrite)	<b>Signature du volontaire</b> (Précédée de la date manuscrite)

## ANNEXE 7 : QUESTIONNAIRE D'ANOSOGNOSIE

**Sujet :**

**Date :**

**Heure :**

Quelles sont vos difficultés actuelles ? :

---

---

Qu'est ce qui vous pose problème ? :

---

---

Qu'est ce qui « marche » moins bien qu'avant ? :

---

---

Au niveau de votre mémoire ? :

---

---

Au niveau de votre attention/concentration ? :

---

---

Au niveau de vos réflexes/rapidité ? :

---

---

Au niveau de votre raisonnement ? :

---

---

Au niveau de la planification / autonomie ? :

---

---

Est-ce que vos humeurs sont changeantes depuis votre accident ? :

Est-ce que vous avez l'impression d'être plus irritable ? :

Plus impulsif ? :

---

---

Vous sentez-vous plus fatigué qu'auparavant ? :

---

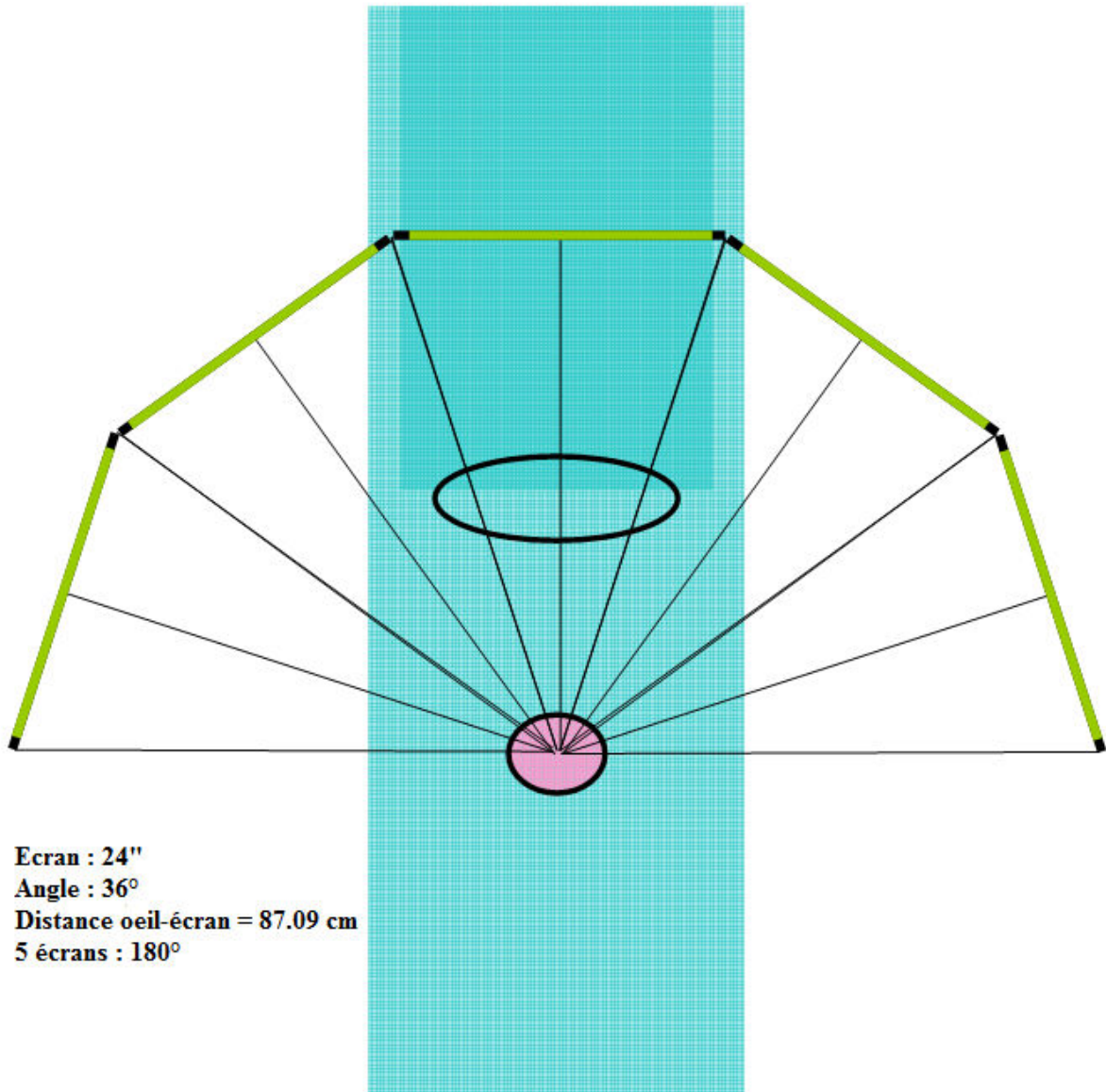
---

Votre moral est-il bon ? :

---

---

## ANNEXE 8 : CONFIGURATION DES ÉCRANS DU SIMULATEUR DE CONDUITE



**Ecran : 24"**  
**Angle : 36°**  
**Distance oeil-écran = 87.09 cm**  
**5 écrans : 180°**

## ANNEXE 9 : CONSIGNES POUR LA PRISE EN MAIN SUR SIMULATEUR DE CONDUITE

### Consigne :

Voici le simulateur de conduite. Pour ce premier essai, nous allons simplement vérifier si vous ne ressentez aucun malaise en conduisant ce véhicule.

Les commandes sont exactement les même qu'avec n'importe quel véhicule. Simplement la route a été remplacée par ces 5 écrans, donc le véhicule restera immobile. Les rétroviseurs sont également incrustés dans l'image et vous permettent de voir ce qui peut se passer à l'arrière.

Installation dans le véhicule...

Directions à prendre : **Arrêter au bout de 10 minutes si tout va bien**

## ANNEXE 10 : CONSIGNES POUR L'ÉVALUATION SUR SIMULATEUR DE CONDUITE (PARCOURS 1)

### Parcours 1 : situation péri-urbaine

#### Consigne :

Dans cette épreuve vous allez à nouveau conduire, mais cette fois, vous allez vous déplacer dans un environnement naturel (autoroute, route nationale...).

Vous devrez donc adapter votre vitesse en fonction de cet environnement et de la signalisation.

Votre tâche principale sera donc de conduire en écoutant mes indications de direction, et de rouler le plus naturellement possible dans cet environnement en respectant le code de la route. Dans cette situation, il y aura du trafic, et parfois les véhicules devant vous ou autour de vous auront un comportement particulier, qui ne serait pas très normal dans une situation réelle (une voiture qui coupe la route à une intersection où vous êtes prioritaire par exemple...). Dans ce cas, vous devez tenter de réagir comme si vous étiez réellement dans votre voiture et que vous deviez éviter un accident ou un accrochage.

Et en même temps que vous conduisez vous allez devoir réaliser une tâche de mémorisation qui va durer tout le parcours. Cette tâche va consister à compter le nombre de panneaux interdit de tourner à droite (montrer le panneau à l'image) que vous allez rencontrer, mais attention, parfois vous verrez aussi le panneau IG et vous ne devez pas en tenir compte. Donc, je répète : votre tâche est de compter le nombre de panneaux ID que vous avez vus sans compter les autres. Je vous demanderai de me restituer ce chiffre à la fin du parcours.

#### Instructions à donner au fur et à mesure de la conduite :

**Départ :** vous êtes sur une route nationale, vous pouvez démarrer quand vous êtes prêt.

1. vous allez entrer sur une autoroute par une voie d'insertion. Vous devez vous insérer sur cette autoroute.
2. Vous allez devoir prendre la direction de Toulon et sortir à Toulon. (si le sujet ne fait pas mine de prendre la sortie Toulon, lui dire de sortir au dernier moment)
3. Prenez à droite à cette intersection.
4. Vous irez tout droit aux deux prochaines intersections (route prioritaire avec Cédez le passage pour les autres)
5. Au rond point vous prendrez à gauche (donner l'instruction au moment où on passe le panneau du rond-point) (redire dans le rond-point quelle voie il faut prendre)
6. longue partie sans intersection (situation des quilles...)
7. A la prochaine intersection vous suivrez la direction : « AUTRES DIRECTIONS »
8. Vous irez tout droit à la prochaine intersection (véhicule qui grille le stop)
9. situation du camion benne
10. A la prochaine intersection vous suivrez la direction : « AUTRES DIRECTIONS »
11. Fin du trajet.
12. Demander le nombre de panneaux interdit de tourner à droite (N=5)



## ANNEXE 11 : GRILLE D'OBSERVATION DE LA CONDUITE SUR SIMULATEUR

### 1- Parcours 1 : autoroute et route nationale

	insertion sur autoroute	queue de poisson	sortie d'autoroute	rond-point
échec/réussite				
rétro/exploration				
vitesse adaptée				
<b>Total</b>	0	0	0	0

quilles	cédez-le-passage	coupe priorité	camion benne	queue de poisson
0	0	0	0	0

	Score total		
échec/réussite	0 /9	Tâche att sélective	
rétro/exploration	0 /9	Bonne réponse :	5
vitesse adaptée	0 /9	Réponse donnée :	
<b>Score total</b>	<b>0 /27</b>		

## 2- Parcours 2 : centre-ville

	I1	I2	I3	I4	I5	I6
	feux rouge	feux orange	TAG	prio à droite	prio à droite	feux vert
échec/réussite						
respect de la signalisation						
placement de voie		NA		NA	NA	
vitesse adaptée						
exploration visuelle						
<b>total</b>	0	0	0	0	0	0
	/5	/4	/5	/4	/4	/5

simple tâche							
	I8	I9	I10	I11	I12	I13	
portière n°1	feu vert	feux orange	portière n°2	feu vert	feu rouge TAG	feu rouge TAG	feu vert
NA			NA				
NA	NA		NA	NA			NA
	0	0	0	0	0	0	0
	/3	/4	/5	/3	/4	/5	/4
TR =			TR =				

double tâche										
I14	I15	I16	I17	I19	I20	I21	I22			
rond-point	portière n°3	TAG	TAG feux 3voies	TAG feux rouge	portière n°4	feu vert	feux orange	portière n°5	feu vert	TAG feux orange
	NA	NA			NA			NA		
NA	NA	NA			NA	NA		NA	NA	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	/4	/3	/3	/5	/5	/3	/4	/5	/3	/4
TR =				TR =				TR =		

I23	I24	I25	I26	I27		
feux orange	feu vert	TAG cédez le passage	TAD feu vert	portière n°6	feu rouge-vert	rond-point
				NA		
NA	NA			NA	NA	NA
	0	0	0	0	0	0
	/4	/4	/5	/5	/3	/4
				TR =		

	score total		Simple tâche	Double tâche	
échec/réussite	0 /32				
respect de la signalisation	0 /25	Score	0	0	total
placement de voie	0 /12	TR portières	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
vitesse adaptée	0 /32	Nb portières			
exploration visuelle	0 /32	explo visuel	0	0	0
	<b>score total</b>				
	<b>Score sur 100</b>				

## ANNEXE 12 : CONSIGNES POUR L'ÉVALUATION SUR SIMULATEUR DE CONDUITE (PARCOURS 2 : situation urbaine)

### Consigne :

Dans ce parcours vous allez à nouveau conduire, mais cette fois, vous allez vous déplacer dans un environnement urbain. Vous devrez donc adapter votre vitesse et vous serez limité à 50 km/h. Vous allez vous rendre compte que dans cette situation, la voiture est bridée à 70 km/h, mais vous devez tout de même respecter la limitation.

Votre tâche principale est d'écouter mes indications, et de rouler le plus naturellement possible dans cet environnement en respectant le code de la route.

A un moment donné, nous allons avoir une conversation où je vous poserai certaines questions auxquelles vous allez devoir répondre. Ce sont des questions simples sur la vie quotidienne.

Parfois, dans certaines rues étroites, il se peut qu'une voiture en stationnement ouvre brusquement sa portière. Dans ce cas, vous devrez donner un **coup de frein le plus rapidement possible**. C'est une tâche de rapidité mais vous n'avez pas besoin de piler, un appui léger suffit pour indiquer que vous avez vu l'événement.

Je récapitule : vous avez donc 3 choses à réaliser : conduire en écoutant mes indications, répondre à mes questions quand je vous le demanderai et donner un coup de frein lorsque vous verrez une portière s'ouvrir brusquement.

Avez-vous bien compris ? Avez-vous des questions ? Êtes-vous prêt à commencer ?

### Instructions à donner au fur et à mesure de la conduite :

**Départ :** vous allez commencer dans une intersection. C'est normal. N'oubliez pas que le volant est très sensible. Évitez les coups de volant, et prenez les virages le plus lentement possible.

1. Aller tout droit aux feux
2. Aller tout droit aux feux
3. Prenez à gauche aux feux
4. Aller tout droit à la prochaine intersection (priorité à droite)
5. Aller tout droit à la prochaine intersection (priorité à droite)
6. Aller tout droit aux feux

**DEBUT PASSAGE 1 (simple tâche)**

**Portière 1**

7. Aller tout droit à la prochaine intersection
8. Aller tout droit aux feux
9. Aller tout droit aux feux

**Portière 2**

10. Aller tout droit aux feux
11. Prenez à gauche aux feux (direct après)

**FIN PASSAGE 1**

12. Prenez à gauche aux feux
12. Aller tout droit aux feux
13. Au rond point, prenez tout droit, la deuxième sortie

**Portière 3**

14. Prenez à gauche à la prochaine intersection
15. Prenez à gauche aux feux
16. Prenez à gauche aux feux

**DEBUT PASSAGE 2 – début double tâche (conversation)**

**Portière 4**

17. Aller tout droit à la prochaine intersection
18. Aller tout droit à la prochaine intersection
19. Aller tout droit à la prochaine intersection

**Portière 5**

20. Aller tout droit à la prochaine intersection
21. Prenez à gauche aux feux

**FIN PASSAGE 2 - fin conversation**

22. Aller tout droit aux feux
23. Aller tout droit aux feux
24. Prenez à gauche à la prochaine intersection (cédez-le-passage)
25. Prenez à droite aux feux

**Portière 6**

26. Aller tout droit aux feux
27. Au rond point, prenez la première sortie à droite

## ANNEXE 13 : DISCUSSION PARCOURS 2 (TÂCHE D'ATTENTION DIVISÉE)

---

### Thème 1 : NTIC

- Est-ce que vous connaissez les N.T.I.C. ?

Ce sont les nouvelles technologies de l'information et de la communication

- Est-ce que vous pouvez me donner des exemples ? (TV, radio, appareil photo numérique, téléphone, internet, GPS) ?

- Est-ce que vous pouvez me citer toutes celles dont vous disposez chez vous ?

Si il répond TV → Quel est le dernier film que vous ayez vu à la TV ?

- Quel est le dernier film vu au cinéma ? Quels sont les acteurs principaux ?

### Thème 2 : Nourriture

- Est-ce que vous allez souvent au restaurant ?

- Est-ce que vous vous souvenez de la dernière fois où vous y êtes allé ? (demander la date approximative, mois)

- Est-ce que vous vous souvenez de ce que vous aviez mangé ?

### Thème 3 : Vacances

- Est-ce que vous êtes parti en vacances l'année dernière ? Si oui :

- → vous souvenez vous du lieu ?

- → de la date ?

- → de la durée ?

- Est-ce que vous avez déjà pris l'avion ?

→ Combien de fois ? Pour aller où.

- Est-ce que vous avez déjà pris le bateau ?

→ Combien de fois ? Pour aller où ?

## ANNEXE 14 : ÉVALUATION SUR ROUTE PARTIE « INTRA-MUROS »



Hôpitaux de Lyon

Mise en observation sur route  
Fiche résultat de la partie « intra-muros »

Nom du patient : .....

Date : .....

• **Installation dans le véhicule :**

1- Le patient s'installe correctement dans le véhicule

Oui                       Non

2- Le patient peut utiliser les commandes du véhicule

Oui                       Non

• **Conduite :**

1- Le patient démarre correctement le véhicule

Oui                       Non

2- Les changements de direction sont réalisés correctement

Oui                       Non

3- Le patient effectue les contrôles visuels nécessaires

Oui                       Non

4- Le patient adapte sa vitesse correctement

Oui                       Non

• **Décision pour essai sur route :**

Oui                       Non

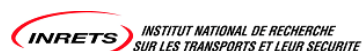
Commentaires :

---

---

---

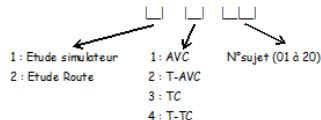
# ANNEXE 15 : GRILLE TRIP



Hôpital Henry Gabrielle

## Grille d'Evaluation Pratique de la Compétence de Conduite Brouwer et al. (2004) Traduction française : LESCOT, 2009

Code Sujet



Pathologie : TC  AVC  Autre  : \_\_\_\_\_

Lieu d'hospitalisation du patient : H. Gabrielle  Autre  : \_\_\_\_\_

Moniteur : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Durée du test : \_\_\_\_\_

Circonstances particulières : \_\_\_\_\_

Type de voiture :    boîte manuelle     Boite automatique

Circonstances particulières sur la route : \_\_\_\_\_

Moment de la journée : >Matin                       Après midi

>Période de pointe                       Hors heure de pointe

Condition météo : \_\_\_\_\_

Le test a-t-il été interrompu pour des raisons de sécurité ? Oui  Non

• Si oui, pourquoi ? \_\_\_\_\_

### Instructions générales :

- Chaque question comporte différents items qui doivent tous être classés dans une catégorie :
  - I = Insuffisant (1 point)
  - D = Douteux (2 points)
  - S = Suffisant (3 points)
  - B = Bon (4 points)
  - NA : Non Applicable
- Calcul du score :
  - Score total : Additionner les scores des échelles 1 à 11
  - Score stratégique : échelle séparée à la fin du questionnaire, à remplir par le participant, chaque item coché vaut 1 point
  - Score tactique : se calcule à partir des scores aux échelles 1 et 9 :  
**Score tactique = score échelle 1 + score échelle 9A**
- Chaque question est suivie d'un espace réservé aux explications.
  - Toujours remplir cet espace lorsqu'un item est classé « insuffisant »

### 1. Position latérale sur la route

#### 1.1. Quelle est la position latérale moyenne du véhicule sur la voie ?

- [1] Trop à gauche par rapport au milieu de la voie  
 [2] Légèrement à gauche par rapport au milieu de la voie  
 [3] Positionnement correct  
 [2] Légèrement à droite par rapport au milieu de la voie  
 [1] Trop à droite par rapport au milieu de la voie

#### 1.2. Stabilité de la trajectoire (oscillation volant et dérive) :

##### 1.2.1. Sur route droite

Vitesse = 50 km/h :	I	D	S	B	NA
Vitesse > 50 km/h :	I	D	S	B	NA

##### 1.2.2. En virage

Vitesse = 50 km/h :	I	D	S	B	NA
Vitesse > 50 km/h :	I	D	S	B	NA

##### 1.2.3. Lors de mouvements de regard / de tête

Vitesse = 50 km/h :	I	D	S	B	NA
Vitesse > 50 km/h :	I	D	S	B	NA

### 1.3. Evaluation du choix de file dans les situations suivantes :

Choix de file pour aller tout droit	I	D	S	B	NA
Choix de file pour tourner à droite	I	D	S	B	NA
Choix de file pour tourner à gauche	I	D	S	B	NA
Choix de file pour les ronds-points	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 1 =        /43

## 2. Distances de sécurité

1. Comment évaluez-vous le style de suivi de véhicule du conducteur ?

	Compensation	
<input type="checkbox"/> Distance de sécurité <i>trop courte</i> par rapport au véhicule précédent	[1]	1
<input type="checkbox"/> Distance de sécurité <i>assez courte</i> par rapport au véhicule précédent	[2]	2
<input type="checkbox"/> Distance de sécurité <i>normale</i> par rapport au véhicule précédent	[3]	3
<input type="checkbox"/> Distance de sécurité <i>assez longue</i> par rapport au véhicule précédent	[2]	4
<input type="checkbox"/> Distance de sécurité <i>trop longue</i> par rapport au véhicule précédent	[1]	5

2. Comment évaluez-vous l'adaptation des distances de sécurité en fonction de la vitesse des véhicules devant ?

	I	D	S	B	NA
En ville					
En rase campagne					

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 2 = /11

## 3. Vitesse

1. Comment évaluez-vous le conducteur par rapport à ses choix de vitesse ?

	compensation	
<input type="checkbox"/> Trop rapide	[1]	1
<input type="checkbox"/> Rapide	[2]	2
<input type="checkbox"/> Bonne adaptation de la vitesse	[3]	3
<input type="checkbox"/> Lent	[2]	4
<input type="checkbox"/> Trop lent	[1]	5

2. Comment évaluez-vous l'adaptation de la vitesse en fonction des circonstances ?

	I	D	S	B	NA
En ville					
En rase campagne					

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 3 = /11

## 4. Exploration visuelle

(Mouvements de la tête et des yeux, contacts visuels avec les autres usagers)

### 1.1. En général

	I	D	S	B	NA
En allant tout droit					
A un croisement avec une route équivalente					
A un croisement avec une route principale					
A un croisement pour tourner à droite					
A un croisement pour tourner à gauche					
En virage					

	I	D	S	B	NA
Utilisation du rétroviseur intérieur					
Utilisation du rétroviseur extérieur					
Vérification de l'angle mort					

### 1.2. Regards d'anticipation

	I	D	S	B	NA
Dans un changement de situation <i>routière</i>					
Dans un changement de situation de <i>trafic</i>					

### 1.3. Qualité des regards à gauche et à droite ?

	I	D	S	B	NA
Evènements dans le champ visuel <i>droit</i>					
Evènements dans le champ visuel <i>gauche</i>					

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 4 = /52

## 5. Signalisation

(Feux de signalisation et panneaux)

Le conducteur perçoit-il bien les signaux (feux et panneaux) et y-répond-il de façon adaptée ?

	I	D	S	B	NA
Perception					
Réaction					

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 5 = /8

## 6. Dépassement

Dépassement sur route à double sens si le cas se présente.

Perception de l'environnement et jugement	I	D	S	B	NA
Réalisation de la manœuvre de dépassement	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 6 = /8

## 7. Anticipation

(Comportement d'anticipation tactique, par exemple : ralentir lorsqu'un piéton approche un passage piéton)

Comment évaluez-vous le comportement d'anticipation du conducteur ?

En fonction des changements de situations routières	I	D	S	B	NA
En fonction des changements de situation de trafic	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 7 = /8

## 8. Communication

Communication avec les autres usagers et adaptation du comportement en fonction des autres usagers

Communication avec les autres conducteurs (le cas échéant)	I	D	S	B	NA
Communication avec les piétons et/ou cyclistes (le cas échéant)	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 8 = /8

## 9. Evaluation en situations particulières

### A. Le tourne à gauche

→ Tourner à gauche et s'insérer sur une voie principale avec trafic assez important et qui a la priorité (pas de feux de signalisation)

A l'approche de l'intersection :					
Adaptation de la vitesse	I	D	S	B	NA
Utilisation des rétro et vérification de l'angle mort	I	D	S	B	NA
Utilisation des clignotants	I	D	S	B	NA
Positionnement sur la route	I	D	S	B	NA
Regards (mouvements de tête)	I	D	S	B	NA
Efficacité de l'observation (voit effectivement les autres usagers)	I	D	S	B	NA

A l'intersection :					
Positionnement sur la route	I	D	S	B	NA
Regards (mouvements de tête)	I	D	S	B	NA
Efficacité de l'observation (voit effectivement les autres usagers)	I	D	S	B	NA
Application des règles de priorité	I	D	S	B	NA
Rapidité et fluidité dans la perception et les actions	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 9A = /44



**B. Insertion dans le trafic (sur autoroute/voie expresse)**

Adaptation de la vitesse dans la voie d'accélération	I	D	S	B	NA
Regards sur les côtés	I	D	S	B	NA
Adaptation de la vitesse en fonction du trafic	I	D	S	B	NA
Clignotants	I	D	S	B	NA
Insertion dans le trafic sur la voie principale	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 9B = /20

Score à l'échelle 9 = /64

**10. Opérations mécaniques**

(Fluidité et planification de l'utilisation des commandes du véhicule)

Utilisation de l'accélérateur	I	D	S	B	NA
Utilisation des freins	I	D	S	B	NA
Mouvements du volant	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 10 = /12

**1. Impressions générales**

Capacités de conduite en général	I	D	S	B	NA
Maniement de la voiture	I	D	S	B	NA
Perception et compréhension du trafic	I	D	S	B	NA

Explication en cas de réponse « I » à l'un des items :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Score échelle 11 = /12

**Conclusions**

Score total : \_\_\_\_\_ / 237

Ou score total : \_\_\_\_/\_\_\_\_ Rapporter ce score au total des items évalués si un ou plusieurs items n'a pas pu être évalué

Score /100 : \_\_\_\_/ 100

**SOUS-SCORES :**

1. Facteur opérationnel :

s 1.1 : \_\_\_\_ + s 1.2 : \_\_\_\_ + s 10 : \_\_\_\_ = \_\_\_\_/39

2. Facteur tactique :

S 1.3 : \_\_\_\_ + s 2 : \_\_\_\_ + s 3 : \_\_\_\_ + s 7 : \_\_\_\_ = \_\_\_\_/46

3. Score de compensation stratégique :

Reporter le score du questionnaire (nb d'items cochés) : \_\_\_\_

4. Score de compensation tactique :

S 2.1 (compens°) : \_\_\_\_ + s 3.1 (compens°) : \_\_\_\_ + (s7/8\*10) : (\_\_\_\_/8\*10) = \_\_\_\_/20

## ANNEXE 16 : CONSIGNES DE PASSATION POUR LE TRAINING SIMULATEUR

### CONSIGNES

#### Avant-propos :

Je vais vous expliquer le déroulement du programme d'entraînement que vous allez commencer. Cet entraînement comprend 9 sessions d'1h, à raison de 3 sessions par semaine, soit 3 semaines d'entraînement.

Il s'agit d'une recherche expérimentale, ce programme est destiné à vous aider à reprendre la route de manière plus sécuritaire, mais il ne s'agit en aucun cas d'une évaluation de votre aptitude de conduite.

Une session est divisée en 4 parties de 10 minutes chacune et vous aurez des pauses entre chaque partie pour vous permettre de vous reposer ou de vous rafraîchir. Il y a une chose commune à toutes les tâches : on va vous demander de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreur possible.

Cet entraînement comprend 9 sessions, vous allez donc forcément rencontrer des tâches faciles et d'autres un peu plus difficiles, il ne faudra pas s'inquiéter si vous avez parfois des difficultés à répondre et garder du courage pendant toute la durée de cet entraînement. Vous verrez au fur et à mesure des sessions qu'il vous sera plus facile d'exécuter certaines tâches par rapport au début.

#### 1- Vigilance

Vous allez conduire et suivre une voiture pendant un certain temps (10 minutes environ). On vous demandera de réagir lorsque vous verrez ces feux stop arrière s'éclairer. À ce moment là il faudra appuyer le plus rapidement possible sur la pédale de frein du simulateur puis reprendre votre allure de conduite. Il est inutile de piler et de mettre le véhicule complètement à l'arrêt, un simple appui suffira. Ce sont vos temps de réaction qui sont enregistrés, il faut donc essayer d'être le plus rapide possible.

#### 2- Alerte phasique

- 1<sup>ère</sup> partie (5 min) :

Cette épreuve se déroule en 2 temps, 2 parties de 5 minutes chacune. Pour la 1<sup>ère</sup> étape on vous demande de freiner le plus rapidement possible lorsqu'un élément vient perturber votre conduite, c'est-à-dire lorsque vous trouvez un obstacle sur votre route. L'obstacle apparaît brusquement et peut prendre plusieurs formes.

Attention, la tâche consiste seulement à freiner et non à donner un coup de volant. Ainsi, il ne faut pas essayer d'éviter l'obstacle, il suffit de donner un petit appui sur la pédale de frein. Essayez de garder une allure constante avoisinant les 80km/h pour que ce soit plus simple.

- 2<sup>ème</sup> partie (5min) :

Nous allons maintenant passer à la seconde partie de l'épreuve, qui dure le même temps. Il s'agit de la même tâche : un obstacle apparaît brusquement sur la route et il faut freiner le plus rapidement possible lorsqu'on l'aperçoit.

En revanche, cette fois-ci un signal visuel vous avertira de la survenue de l'obstacle. Il s'agit d'un triangle rouge qui apparaît au milieu de la route juste avant l'apparition de l'obstacle. Il est là pour vous aider à vous préparer à l'action et ainsi à réagir plus rapidement.

Attention il ne faudra pas freiner pendant l'apparition du triangle mais bien lors de l'apparition de l'obstacle, sinon votre réponse ne sera pas prise en compte.

### 3- Attention sélective

Dans cette épreuve vous allez conduire un véhicule sur une route droite et à certains moments on vous demandera de répondre verbalement. Votre réponse sera enregistrée dans un micro-casque.

En haut au centre de l'écran, juste à côté du rétroviseur, un panneau va apparaître, il s'agit du panneau-modèle. En même temps plusieurs panneaux vont apparaître dans l'environnement routier, de chaque côté de la route.

La tâche consiste à regarder le panneau-modèle (présenté en haut au centre) puis à regarder dans l'environnement routier si un panneau correspond à l'identique au modèle, on vous demande donc de comparer les deux. Le panneau-modèle reste affiché à l'écran pendant l'apparition des autres panneaux, vous n'avez donc pas besoin de le mémoriser. Il s'agit parfois de panneaux simples (comme vous avez l'habitude de voir) et parfois de panneaux triples, c'est-à-dire 3 panneaux à gauche et 3 panneaux à droite.

(Montrer les exemples de panneaux simples et triples dans le classeur vert)

Il y a donc plusieurs possibilités de réponse :

- « non » : il vous semble que le panneau-modèle est absent, ne se trouve pas dans l'environnement, alors vous répondez non le plus rapidement possible, on enregistre la rapidité à laquelle vous avez répondu.

- « oui » : vous avez trouvé exactement le même panneau dans l'environnement alors dites oui. Dans ce cas là, il faudra préciser le côté d'apparition du panneau et répondre : « oui-gauche » ou « oui-droite ».

Enfin, dernière consigne, il vous ait demandé de rouler approximativement à 70km/h durant toute la tâche et donc de ne surtout pas s'arrêter devant les panneaux, sinon votre réponse ne sera pas prise en compte. De plus, le véhicule est bridé pour cette épreuve, ne vous permettant pas de rouler au dessus de 80 km/h.

Donc si je récapitule, il faut faire retenir plusieurs choses :

- la cible est présente ou absente
- la tâche est simple ou plus difficile
- certains panneaux peuvent ressembler au panneau-modèle et pourtant ne pas être exactement le même
- il peut aussi y avoir de faux panneaux

(Montrer les exemples de faux panneaux dans le classeur vert)

### 4 - Attention divisée

- 1<sup>ère</sup> partie (5min) :

Ce scénario va se dérouler en 2 parties. Dans un 1<sup>er</sup> temps vous allez conduire le simulateur comme si vous étiez dans votre propre véhicule et parfois il peut y avoir des coups de vent. On vous demandera à ce moment d'adapter votre conduite : c'est-à-dire de bien rester dans votre voie et d'éviter de franchir la ligne blanche centrale. Il s'agit donc d'une tâche de conduite simple.

- 2<sup>ème</sup> partie (5min) :

Nous allons maintenant passer à la seconde partie, vous allez réaliser la même tâche que précédemment, c'est-à-dire maîtriser votre véhicule face à la force du vent mais il y a une petite différence : vous devrez réaliser en même temps une tâche verbale.

La tâche verbale consiste à additionner ou soustraire des chiffres à un nombre donné.

(Faire un petit exemple « si je vous donne 2 puis vous dis +5 vous me répondez ? »)

Si jamais vous vous trompez de chiffres, à ce moment là je vous corrigerai en vous donnant la réponse exacte et vous continuerez la tâche ensuite. Il faut donc essayer d'être le plus rapide possible mais aussi de faire le moins d'erreur possible. Ne vous inquiétez pas si vous avez parfois des difficultés à réaliser la tâche, c'est normal, ce n'est pas une tâche facile, elle requiert beaucoup d'attention.

Donc je répète : il s'agit de répondre à la tâche d'addition verbale tout en essayant de rester concentrer sur la route et donc de maintenir la direction de son véhicule dans la voie.

**ANNEXE 17 : OBJETS UTILISÉS POUR LA TÂCHE DE TRAINING D'ALERTE PHASIQUE**



**ANNEXE 18 : TRAINING SIMULATEUR ATTENTION DIVISÉE : TÂCHE DE CALCUL MENTAL**

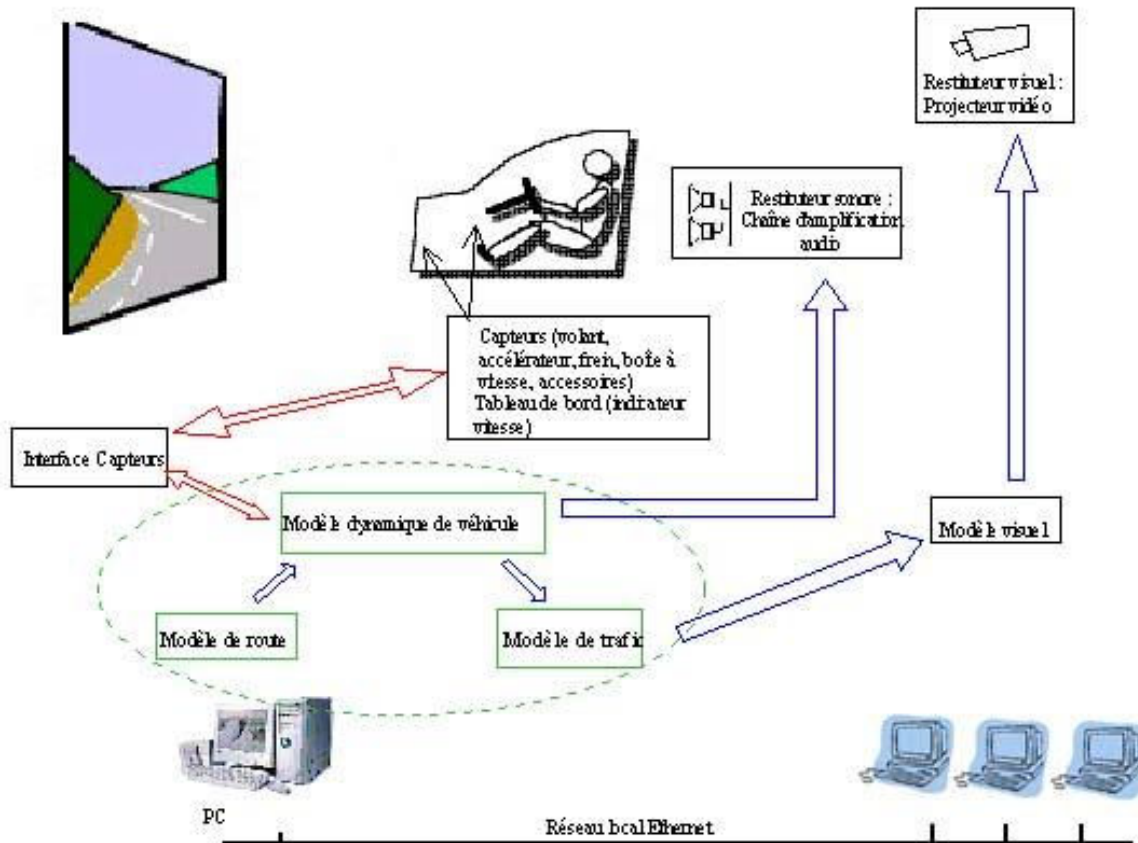
**Training simulateur : « marjad »**

**Session 1**

Sl	Réponse attendue	Réponse donnée	Sl	Réponse attendue	Réponse donnée
0	0 901		43	-3 895	
1	-4 897		44	-4 891	
2	-3 894		45	+7 898	
3	+3 897		46	+5 903	
4	-6 891		47	+6 909	
5	+5 896		48	-7 902	
6	-7 889		49	-5 897	
7	+7 896		50	+4 901	
8	+4 900		51	-3 898	
9	-5 895		52	-6 892	
10	+6 901		53	+4 896	
11	+4 905		54	+7 903	
12	-3 902		55	+5 908	
13	-7 895		56	-4 904	
14	-6 889		57	-5 899	
15	+6 895		58	-7 892	
16	+3 898		59	+3 895	
17	-4 894		60	+6 901	
18	-5 889		61	-4 897	
19	+7 896		62	+5 902	
20	+5 901		63	-6 896	
21	-4 897		64	-3 893	
22	-6 891		65	-5 888	
23	+7 898		66	-7 881	
24	-3 895		67	+7 888	
25	+4 899		68	+4 892	
26	-7 892		69	+3 895	
27	-5 887		70	+6 901	
28	+3 890		71	-5 896	
29	+5 895		72	-7 889	
30	+6 901		73	+3 892	
31	-6 895		74	+7 899	
32	+3 898		75	+4 903	
33	+4 902		76	-6 897	
34	-3 899		77	+5 902	
35	-5 894		78	-3 899	
36	-7 887		79	+6 905	
37	-4 883		80	-4 901	
38	+6 889		81	+3 904	
39	+7 896		82	-7 897	
40	+5 901		83	-3 894	
41	+3 904				
42	-6 898				

Chiffre de départ	
Chiffre d'arrivé	
Nombre de chiffres donnés	
Nombre d'erreurs corrigées	
Nombre de chiffres corrects	

## ANNEXE 19 : ARCHITECTURE DU SIMULATEUR DE CONDUITE



## ANNEXE 20 : PLAN EXPERIMENTAL

### 1- VARIABLES DE L'ÉVALUATION PRE ET POST-TRAINING

#### **Variabes globales pour toute l'expérimentation**

La variable indépendante (VI) principale était une variable inter-sujet, il s'agissait du type de *training* avec deux modalités : *training* sur simulateur de conduite et *training* sur ordinateur (N=5 pour les patients ; N=8 pour les personnes âgées). La deuxième variable principale était intra-sujet, il s'agissait du moment de l'évaluation avec deux modalités : avant et après le *training* (N=10 pour les patients ; N=16 pour les personnes âgées). En résumer, on obtient les variables suivantes :

- VI 1 inter-sujet: Type de *training*, avec deux modalités :
  - Simulateur de conduite
  - Ordinateur
- VI 2 intra-sujet : Période de l'évaluation, avec deux modalités :
  - Pré-*training*
  - Post-*training*

#### **Variabes propres à l'évaluation neuropsychologique**

##### Variabes indépendantes (VI)

Les variables indépendantes spécifiques à l'évaluation neuropsychologique étaient toutes intra-sujet, autrement dit, chaque participant effectuait tous les tests neuropsychologiques. Ainsi, il y avait une variable indépendante par test neuropsychologique utilisé :

- VI 1 : Trail Making Test, avec deux modalités :
  - Partie A : condition simple (relier les lettres)
  - Partie B : condition d'alternance (relier lettres et chiffres)
- VI 2 : Test de Stroop, avec trois modalités :
  - Condition dénomination
  - Condition lecture
  - Condition interférence
- VI 3 : Test de Mesulam, avec deux modalités :
  - Condition désorganisée
  - Condition organisée
- VI 4 : Test de PASAT, avec une modalité :
  - Tâche de calcul
- VI 5 : TEA Alerte Phasique, avec deux modalités :
  - Condition sans avertisseur visuel
  - Condition avec avertisseur visuel
- VI 6 : TEA Vigilance, mouvement d'une barre horizontale, avec deux modalités :
  - Mouvement de petite amplitude (grande fréquence) : non réponse
  - Mouvement de grande amplitude (faible fréquence) : réponse du sujet
- VI 7 : TEA Go/No-Go, avec deux modalités :
  - Condition Go : réponse attendue
  - Condition No-Go : non réponse
- VI 8 : TEA Attention divisée (double tâche), avec deux modalités :
  - Condition auditive
  - Condition visuelle

### Variables dépendantes (VD)

Les variables dépendantes sont les unités de mesures enregistrées pour chaque test attentionnel, elles diffèrent selon le test neuropsychologique utilisé :

- Trail Making Test :
  - VD 1 : temps de réponse (TR)
  - VD 2 : coût de l'alternance (=TR partie B – TR partie A)
- Test de Stroop :
  - VD 1 : temps de réponse
  - VD 2 : score d'interférence (=TR interférence – TR dénomination)
- Test de Mesulam :
  - VD 1 : temps de réponse
  - VD 2 : nombre d'erreurs
- Test de PASAT :
  - VD 1 : nombre de bonnes réponses
  - VD 2 : nombre d'erreurs total (télescopage, calcul, non réponse)
- TEA Alerte Phasique :
  - VD 1 : temps de réponses
  - VD 2 : index d'alerte phasique
- TEA Vigilance :
  - VD 1 : temps de réponse
  - VD 2 : nombre d'omissions
  - VD 3 : nombre de fausses alarmes (FA)
  - VD 4 : coût du TR (=TR deuxième partie – TR première partie)
  - VD 5 : coût des erreurs d'omission (=omissions deuxième partie – omission première partie)
  - VD 6 : coût des fausses alarmes (=FA deuxième partie – FA première partie)
- TEA Go/No-Go :
  - VD 1 : temps de réponse
  - VD 2 : nombre d'omissions
  - VD 3 : nombre de fausses alarmes
- TEA Attention divisée (double tâche) :
  - VD 1 : temps de réponse
  - VD 2 : nombre d'omissions
  - VD 3 : nombre de fausses alarmes

### **Variables propres à l'évaluation sur simulateur de conduite**

L'évaluation sur simulateur de conduite comprenait deux parties de quinze minutes chacune, au cours desquelles plusieurs informations étaient enregistrées. Ainsi, il y avait une seule variable indépendante principale :

- VI 1 : Type de parcours, avec deux modalités :
  - Parcours 1 : autoroute et nationale
  - Parcours 2 : centre-ville

### Parcours 1

Les paramètres utilisés différaient en fonction du parcours effectué sur simulateur de conduite, pour le parcours 1, les variables indépendantes étaient les suivantes :

- VI 1 : Type de données recueillies, avec trois modalités :
  - Echec/réussite
  - Exploration visuelle
  - Adaptation de la vitesse
- VI 2 : tâche d'attention sélective, comptabiliser les panneaux « interdit de tourner à gauche », avec deux modalités :
  - Cibles : panneaux à compter
  - Distracteurs : panneaux à inhiber

Les variables de mesures (VD) prise en considération durant le premier parcours étaient les suivantes :

- VD 1 : Score total à la grille de conduite (sur 100 points)
- VD 2 : Score spécifique de réussite, d'exploration visuelle et de vitesse (sur 9 points chacun)
- VD 3 : Réussite ou échec à la tâche d'attention sélective (1 ou 0 point)



### Parcours 2

Pour le parcours 2, deux variables indépendantes ont été ajoutées au recueil de données :

- VI 1 : Type de données recueillies, avec cinq modalités :
  - Echec/réussite
  - Exploration visuelle
  - Adaptation de la vitesse
  - Respect de la signalisation
  - Placement de voie
- VI 2 : Tâche d'attention divisée, avec deux modalités :
  - Condition de simple tâche
  - Condition de double tâche
- VI 3 : Tâche d'alerte phasique : freiner dès qu'un véhicule en stationnement ouvrait sa portière, avec deux modalités :
  - Ouverture de portière : réponse du sujet
  - Portière fermée : non-réponse

Les variables de mesures (VD) prise en considération durant le deuxième parcours étaient les suivantes :

- VD 1 : Score total à la grille de conduite (sur 100 points)
- VD 2 : Score spécifique de réussite (sur 32 points), d'exploration visuelle (sur 32 points), de vitesse (sur 32 points), de signalisation (sur 25 points) et de placement de voie (sur 12 points)
- VD 3 : Temps de réponse lors de la tâche d'alerte phasique (en millisecondes)
- VD 4 : Score en simple tâche et score en double tâche (score total et pour chaque type de données recueillies)
- VD 5 : Coût de la double tâche (=score double tâche – score simple tâche), sur le score total et sur les sous-scores
- VD 6 : Temps de réponse à la tâche d'alerte en condition de simple tâche et de double tâche (en millisecondes)
- VD 7 : Coût de la double tâche sur les temps de réponse (=TR double tâche – TR simple tâche)

### **Variables propres à l'évaluation sur route**

L'évaluation sur route réelle s'effectuait sur un parcours standardisé, il était identique pour chaque participant. Ainsi, il n'y avait qu'une seule variable indépendante :

- VI 1 : Tâche de conduite sur route : observation du moniteur à l'aide d'une grille de conduite (TRIP), avec 12 modalités :
  - Echelle 1 : position latérale du véhicule
  - Echelle 2 : distance de sécurité
  - Echelle 3 : adaptation de la vitesse
  - Echelle 4 : exploration visuelle
  - Echelle 5 : respect de la signalisation
  - Echelle 6 : dépassement de véhicule
  - Echelle 7 : anticipation
  - Echelle 8 : communication
  - Echelle 9 : situations particulières
  - Echelle 10 : opérations mécaniques
  - Echelle 11 : impressions générales

Les variables dépendantes correspondaient au score total à la grille et aux sous-scores de la grille de conduite :

- VD 1 : Score total à la grille TRIP (sur 100 points)
- VD 2 : Score spécifique à chaque échelle
- VD 3 : calcul de scores complémentaires à partir de différents sous-scores : un score tactique, un score de compensation tactique, un score opérationnel et un score de compensation tactique

## 2 - VARIABLES DU TRAINING ATTENTIONNEL

### **Variabiles globales pour toute l'expérimentation**

- VI principale inter-sujet : type de *training*, avec deux modalités :
  - *Training* sur simulateur de conduite
  - *Training* sur ordinateur avec le logiciel « CogniPlus »
- VI principale intra-sujet : nombre de sessions, avec neuf modalités :
  - Session 1
  - Session 2
  - ... (jusqu'à la session 9)

### **Variabiles propres au *training* sur simulateur de conduite**

#### Epreuve d'Alerte Phasique

La tâche d'alerte phasique sur simulateur de conduite comprenait deux conditions expérimentales, qui constituaient la variable indépendante principale :

- VI 1 : Présentation du stimulus (obstacle), avec deux modalités :
  - Sans avertisseur visuel
  - Avec avertisseur visuel (triangle rouge)
- VI 2 : Temps d'amorce, avec cinq modalités :
  - 100 ms
  - 300 ms
  - 500 ms
  - 1000 ms (soit 1 seconde)
  - 1500 ms (soit 1,5 seconde)

Une seule variable dépendante était enregistrée :

- VD 1 : Temps de réponse dans chaque condition expérimentale et pour chaque temps d'alerte (en millisecondes).

#### Epreuve de Vigilance

- VI 1 : Feux de stop, avec deux modalités :
  - Eclairage des feux de stop (faible fréquence) : réponse du sujet
  - Feux de stop éteints (haute fréquence) : non-réponse

Deux mesures étaient enregistrées pour cette tâche :

- VD 1 : Temps de réponse (pour les 12 stimuli), en millisecondes
- VD 2 : Ecart-type existant entre les 12 stimuli au cours d'une session (en ms)

#### Epreuve d'Attention Sélective

Dans la tâche d'attention sélective, le participant devait détecter un panneau-cible parmi des distracteurs. Il y avait ainsi plusieurs variables indépendantes :

- VI 1 : Types de distracteurs, avec deux modalités :
  - Similaire à la cible
  - Dissimilaire à la cible
- VI 2 : Nombre de panneaux, avec deux modalités :
  - Saillance forte : un panneau de chaque côté de la route
  - Saillance faible : trois panneaux de chaque côté de la route
- VI 3 : Panneau-cible, avec deux modalités :
  - Absence de la cible dans l'environnement routier : réponse attendue « non »
  - Présence de la cible : réponse attendue « oui »

Plusieurs variables dépendantes étaient prévues *a priori*, mais seulement une seule a pu être utilisée pour les analyses statistiques :

- VD 1 : Temps de réponse (en ms) : le TR a été enregistré pour chaque situation expérimentale (chaque VI). Cependant, un grand nombre de données n'a pu être exploitée en raison du bruit causé par le micro-casque. Par conséquent, cette mesure n'a pu être gardée pour les analyses statistiques.
- VD 2 : Nombre d'erreurs total (sur 60 stimuli)

### Epreuve d'Attention Divisée

L'épreuve d'attention divisée est celle qui impliquait le plus de variables indépendantes et dépendantes du fait de la complexité de sa structure :

- VI 1 : Intensité du vent ressenti dans le volant, avec trois modalités :
  - Vent faible
  - Vent modéré
  - Vent fort
- VI 2 : Côté d'intervention du vent, avec deux modalités :
  - Vent latéral gauche
  - Vent latéral droit
- VI 3 : Conditions de passations expérimentales, avec deux modalités :
  - Simple tâche : tâche de conduite et de maintien de la position du véhicule
  - Double tâche : tâche de conduite et tâche de calcul conjointes

Les variables dépendantes étaient nombreuses :

- VD 1 : Nombre de franchissements de lignes (en fonction du côté touchés)
- VD 2 : Déviation standard du véhicule (en centimètre)
- VD 3 : Vitesse kilométrique moyenne (en km/h)
- VD 4 : Ecart-type de la vitesse kilométrique dans chaque condition expérimentale

### **Variables propres au *training* sur ordinateur**

Les variables indépendantes utilisées dans le logiciel CogniPlus<sup>®</sup> n'étaient pas détaillées dans le manuel, nous n'avions donc pas accès à la programmation des exercices. Cependant, nous sommes en mesure de dire que dans l'épreuve d'alerte phasique, les temps de réponse n'étaient pas différenciés en fonction de la condition avec ou sans avertisseur. La tâche d'attention divisée était représentée par un paradigme de double tâche, mais sans condition simple tâche. La tâche d'attention sélective ne permettait pas de comptabiliser le nombre d'omission ou de fausses alarmes. Enfin, la tâche de vigilance était similaire à celle effectuée lors du *training* sur simulateur, il s'agissait de freiner lorsque les feux stop de la voiture de devant s'éclairait.

Les variables dépendantes étaient identiques quel que soit l'exercice, à l'exception de la tâche de vigilance où seule la deuxième VD était prise en compte :

- VD 1 : Temps de réponse (en millisecondes)
- VD 2 : Niveau atteint en fin d'exercice

Il était donc difficile d'obtenir les données recherchées puisque nous n'avions pas le choix de la mesure. Ainsi, nous n'avons pu comparer l'impact de la double tâche avec celui d'une simple tâche. Nous n'avons pu recueillir les écart-types pour aucune tâche attentionnelle. Comment dès lors, constater l'évolution des TR au cours des dix minutes imparties ? Enfin, nous ne sommes pas en mesure de dire si le participant s'est servi du stimulus avertisseur de la tâche d'alerte phasique étant donné que seuls les temps de réponse globaux étaient restitués.

## ANNEXE 21 : RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE GROUPE DES PATIENTS TRAUMATISÉS CRÂNIENS LORS DU TRAINING SUR SIMULATEUR

### Alerte phasique

La Figure 1 illustre les temps de réponse obtenu à la tâche d'alerte phasique en condition avec et sans avertisseur et l'index d'alerte phasique qui en a résulté, pour le groupe de patients entraînés sur simulateur de conduite (N=5).

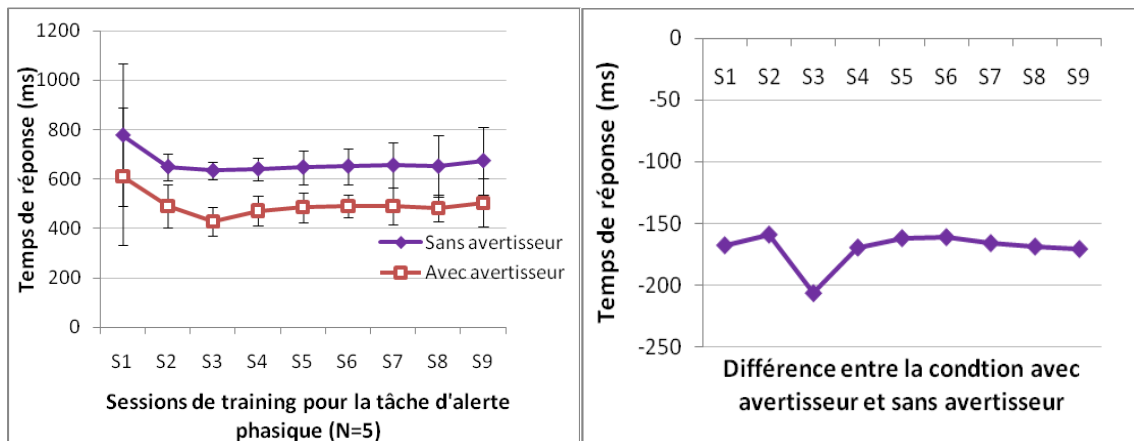


Figure 1. Evolution du temps de réponse et de l'index d'alerte pour le groupe de patients (N=5)

L'index d'alerte a été calculé en soustrayant les TR de la condition sans avertisseur au TR de la condition avec avertisseur. Ainsi, un score négatif indique que les patients ont répondu plus rapidement lors de la condition avec stimulus avertisseur.

L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé de différence significative au cours des 9 sessions de training pour l'index d'alerte ( $F(8,44)=0.12$ ;  $p<.998$ ). Le bénéfice du signal avertisseur sur les TR est donc constant d'une session à l'autre pour le groupe simulateur. De ce fait, aucune amélioration n'a été observée au cours du programme d'entraînement.

### Vigilance

La Figure 2 permet d'observer l'évolution des temps de réponse du groupe de patients, ainsi que de l'écart-type moyen des temps de réponse pour la tâche de vigilance.

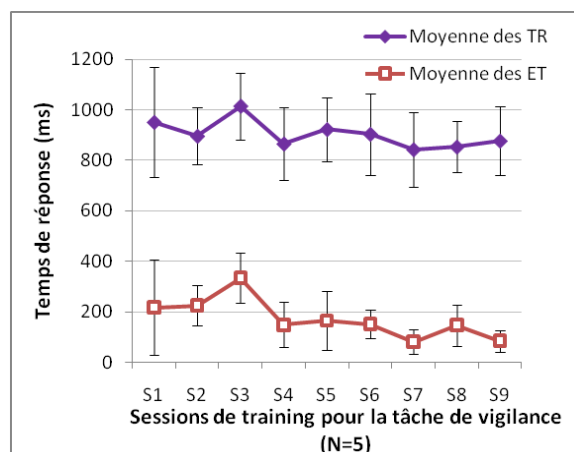


Figure 2. Evolution du temps de réponse et de l'écart-type à la tâche de vigilance pour le groupe simulateur

L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé d'effet principal de la session sur les TR du groupe de patients ( $F(8,44)=0.54$  ;  $p<.0819$ ). En résumé, le groupe n'a pas amélioré sa vitesse de traitement de l'information. L'écart-type inter-sujet concernant les TR n'est pas de grande ampleur, laissant supposer une stabilité de la vitesse de traitement chez tous les patients, de manière individuelle. Ceci reste tout de même à vérifier dans une étude de cas.

En revanche, on note un effet principal de la session sur les écart-types ( $F(8,44)=3.11$  ;  $p<.009$ ). Cependant, cet effet est dû à une variabilité plus importante lors de la session 3 et ne traduit pas de diminution progressive de la variabilité au cours des différentes sessions d'entraînement.

### Attention sélective

La Figure 3 monte le nombre d'erreurs moyen à la tâche d'attention sélective au cours des neuf sessions de training pour le groupe de patients ( $N=5$ ).

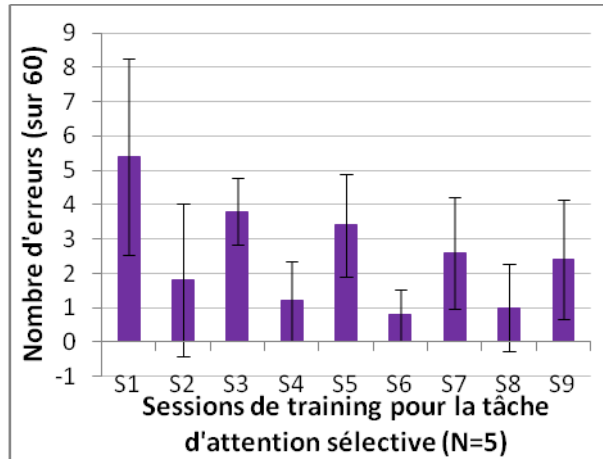


Figure 3. Evolution du nombre d'erreurs à la tâche d'attention sélective pour le groupe ( $N=5$ )

L'analyse de groupe a révélé un effet principal de la session ( $F(8,44)=3.21$  ;  $p<.007$ ). Les tests de comparaison multiples ont montré que cet effet est dû au nombre plus important d'erreurs lors de la première session ( $5.4 \pm 2.87$ ), qui diffère de S4 ( $1.2 \pm 1.17$ ), S6 ( $0.8 \pm 0.75$ ) et S8 ( $1 \pm 1.26$ ).

Les résultats mettent donc en avant une fluctuation générale des performances. Il serait intéressant de vérifier si cette fluctuation est présente chez tous les patients.

### Attention divisée

La Figure 4 illustre le coût de la double tâche sur le nombre de franchissements de ligne (nombre de franchissement en double tâche – nombre de franchissements en simple tâche).

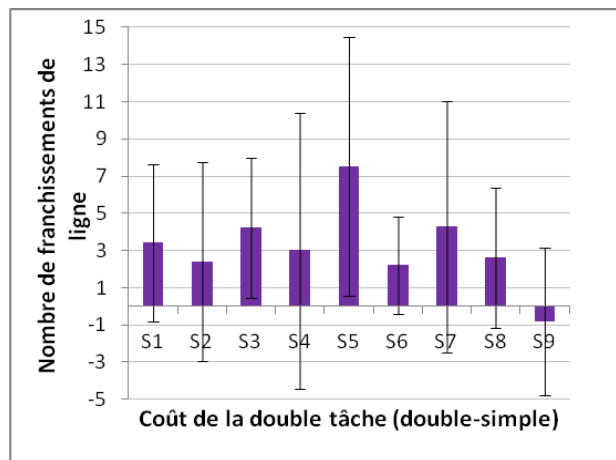


Figure 4. Evolution du coût de la double tâche sur le nombre de franchissements de ligne pour le groupe de patients ( $N=5$ )

L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche concernant le franchissement de ligne ( $F(8,42)=0.83$  ;  $p<.587$ ). Autrement dit, la différence entre la condition de double tâche et la condition de simple tâche ne s'améliore au cours des différentes sessions de training. Cependant, cette variable de mesure n'était pas impactée chez tous les patients du groupe, ce qui explique l'importance de l'écart-type. Une analyse cas par cas semble donc nécessaire pour pouvoir vérifier l'impact de la double tâche sur le franchissement de ligne et ensuite le mettre en lien avec une éventuelle amélioration au cours du *training*.

La Figure 5 illustre le coût de la double tâche sur déviation standard du véhicule (déviation en cm en double tâche – déviation en cm en simple tâche).

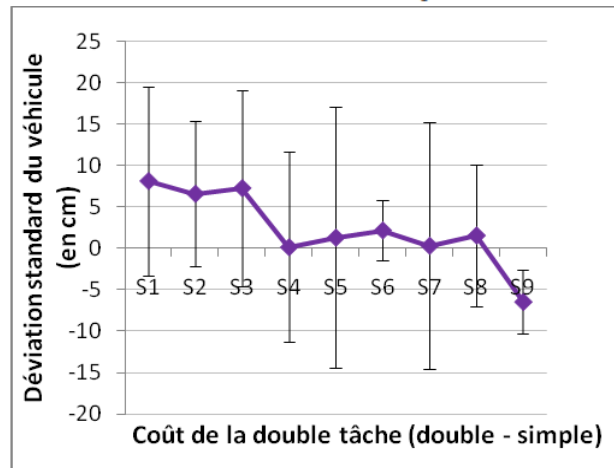


Figure 5. Evolution du coût de la double tâche sur la déviation standard du véhicule pour le groupe de patients (N=5)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche en ce qui concerne la mesure de la déviation standard du véhicule ( $F(8,42)=0.94$  ;  $p<.501$ ). Bien que le coût de la double tâche sur la déviation du véhicule semble diminué au fur et à mesure des sessions (au vu de la Figure 5), la différence n'est pas significative. Il semblerait que la variabilité inter-sujet nuise à l'analyse de groupe. Une analyse individuelle est indispensable pour observer l'impact de la double tâche sur cette mesure et ainsi s'affranchir de la variabilité inter-sujet.

La Figure 6 illustre le coût de la double tâche sur la vitesse kilométrique des patients (vitesse en km/h en double tâche – vitesse en km/h en simple tâche).

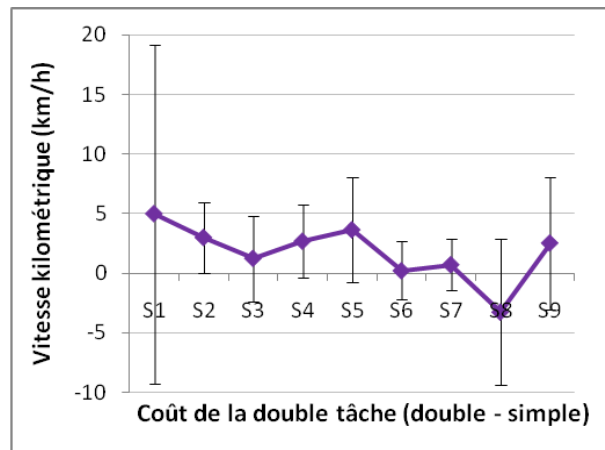


Figure 6. Evolution du coût de la double tâche sur la vitesse kilométrique du groupe de patients (N=5)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche en ce qui concerne la vitesse kilométrique ( $F(8,42)=0.728$  ;  $p<.666$ ). Cependant, l'ajout d'une tâche secondaire n'a pas eu le même impact sur tous les patients. Pour certains, elle a entraîné une augmentation de leur vitesse kilométrique alors que pour d'autres il s'agissait d'une réduction de la vitesse en double tâche. Enfin, certains patients gardait une vitesse plutôt constante quelle que soit la condition expérimentale (simple ou double tâche). Il semble donc pertinent de faire une analyse individuelle pour cette mesure spécifique.

La Figure 7 illustre le coût de la double tâche sur l'écart-type de la vitesse kilométrique des patients (ET de la vitesse en km/h en double tâche – ET de la vitesse en km/h en simple tâche).

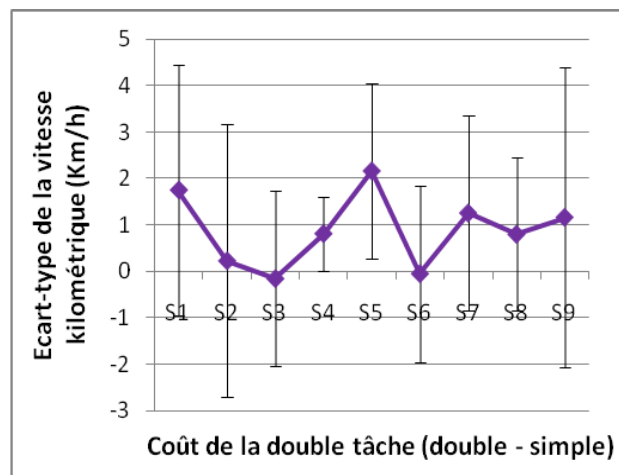


Figure 7. Evolution du coût de la double tâche sur l'écart-type de la vitesse kilométrique du groupe de patients (N=5)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche en ce qui concerne l'écart-type de la vitesse kilométrique ( $F(8,42)=0.571$  ;  $p<.794$ ). Il semblerait que la variabilité de la vitesse kilométrique fluctue d'une session de training à une autre. Cependant, au vu de l'importance des écart-types inter-sujet, nous sommes en mesure de nous demander si le profil est le même pour les cinq patients et si la double tâche impacte cette mesure pour tous les patients. Seule une analyse individuelle permettra de répondre à cette question.



Figure 2. Continuum Vigilance – *Attention soutenue* (adapté d'après Leclercq & Zimmerman, 2000)

Dans une situation typique mettant en jeu la vigilance, le sujet doit traiter très peu d'informations pertinentes contrairement à la situation d'attention soutenue où le flux d'information est rapide et continu ; ce qui nécessite un traitement actif ininterrompu.

L'attention soutenue est impliquée dans pratiquement toutes les tâches de durée prolongée (Van Zomeren, 1995). Son imbrication avec d'autres processus attentionnels la rend ainsi difficile à évaluer de manière isolée. Pour cette raison, nous nous sommes particulièrement intéressés à la vigilance, qui est plus facilement identifiable. Mackworth (1963), pionnier de l'étude de la vigilance, la définit comme l'« état de préparation à détecter et réagir à certains changements discrets apparaissant à des intervalles de temps variables au sein de l'environnement ». Elle est étroitement liée à la notion d'éveil, bien que ce dernier ait une connotation plus neurophysiologique. En effet, être attentif à quelque chose suppose un certain niveau de vigilance sur le continuum veille-sommeil, ce qui tend à indiquer que la vigilance est un état physiologique pré-requis pour l'exercice de l'attention. Classiquement évaluée sur de longues durées (25 minutes à une heure selon les batteries neuropsychologiques utilisées), Nuechterlein et al. (Nuechterlein, Parasuraman, & Jiang, 1983) montrent pourtant qu'il est possible de la mettre en jeu en seulement cinq minutes. Selon ces auteurs, il est possible d'observer des signes d'hypovigilance sur une courte durée à condition que la cible à détecter soit dégradée. Le contexte a donc son importance, la tâche utilisée doit être simple mais la détection difficile. Cependant, dans de telles tâches de courte durée, la baisse de vigilance (diminution de la détection d'un signal par exemple) n'est pratiquement jamais observée chez des sujets sains (Parasuraman, Warm, & See, 1998).

## 1.2 La sélectivité de l'attention

La fonction de sélectivité, second axe dans le modèle de van Zomeren & Brouwer (1994), constitue un aspect central du système attentionnel. La sélectivité nous permet de choisir, de sélectionner une partie de l'information qui se présente à nous. Plus précisément, c'est un mécanisme cognitif responsable de la sélection des informations pertinentes pour l'organisme (ce à quoi on s'intéresse), parmi celles qui sont présentes dans l'environnement. L'humain ne peut agir que sur un nombre restreint d'informations à la fois, le traitement ne peut être exhaustif, c'est donc pour cette raison que notre organisme met en place une sélection attentionnelle.

Deux aspects sous-tendus par l'axe sélectif de l'attention vont maintenant être développés avec plus de précision, l'attention focalisée et l'attention divisée.



fournir la réponse (" 10 "), puis additionner la seconde paire de chiffres de la série (le " 9 " avec le " 4 ") et émettre à nouveau une réponse (" 13 "), et ainsi de suite jusqu'à la fin de la série. La même série de 61 chiffres est présentée à quatre reprises à un rythme de présentation d'un item toutes les quatre secondes. Les variables de mesures sont le nombre de bonnes réponses et le nombre d'erreurs (télescopage, calcul, non-réponse).

f) *Test d'Evaluation de l'Attention informatisé (TEA)*

Afin de compléter cette évaluation neuropsychologique composée de tests « papier-crayon », il nous a semblé pertinent d'utiliser une batterie informatisée. L'ordinateur tient une place importante dans l'évaluation des troubles de l'attention. En effet, certains processus attentionnels sont de courte durée et ne peuvent être mesurés qu'en millisecondes (comme par exemple, l'alerte phasique).

La TEA est une batterie modulaire et hiérarchisée, traduite, standardisée et adaptée en différentes langues. Elle a été conçue par Zimmermann et Fimm (et adaptée en français par North et al., 1994).

Nous avons sélectionné quatre sub-tests de la batterie parmi les douze proposés (alerte phasique, vigilance, attention sélective et attention divisée). D'une part, ces quatre sub-tests permettent de mesurer les quatre composantes attentionnelles du modèle théorique précédemment décrit (Van Zomeren & Brouwer, 1994). D'autre part, nous voulions une évaluation rapide de l'attention, nous ne pouvions donc effectuer l'intégralité de la batterie (d'une durée de trois heures).

- **Alerte phasique :** Cette épreuve évalue la vitesse de traitement de l'information et les capacités d'alerte du participant. La tâche consiste à répondre à un stimulus visuel (une croix) précédé ou non d'un signal auditif. Deux temps de réponse sont enregistrés : en condition avec avertisseur sonore (A) et sans avertisseur sonore (B). La passation se déroule d'après un schéma de type ABBA.

En plus des mesures classiques, un score d'index d'alerte phasique est également calculé. Il s'agit de la comparaison des TR moyens avec et sans avertisseur, selon la formule suivante :

$$\text{Index d'alerte} = \frac{\text{Médiane TR sans avertisseur} - \text{Médiane TR avec avertisseur}}{\text{Médiane de tous les TR}}$$

- **Vigilance :** L'objectif est de mesurer la capacité d'un sujet à soutenir son attention durant de longues périodes de temps (période de trente minutes par exemple). Parmi les quatre épreuves de vigilance proposées, nous avons choisi d'étudier la vigilance visuelle (version simple) car 90% des informations traitées par le conducteur sont visuelles (Simms, 1985). On présente au sujet, au centre de l'écran, une barre horizontale qui se déplace de façon régulière du haut vert le bas avec une oscillation de 1.8 centimètres. Par moment, l'amplitude de la déviation de la barre est nettement plus marquée (3.5 cm). Le sujet doit appuyer sur la touche réponse dès qu'il perçoit cette différence d'amplitude. Nous avons choisi une fréquence d'apparition des stimuli faible afin de rendre le test le plus monotone possible. Enfin, nous avons paramétré une durée de 30 minutes (versus une heure) pour éviter la fatigabilité souvent présente chez les patients avec traumatisme crânien. Le temps de réponse représente notre variable d'intérêt.

- **Go/No Go :** Cette épreuve mesure l'attention sélective. Elle permet d'évaluer la capacité du sujet à inhiber sa réaction lorsque le stimulus n'est pas pertinent et de mesurer la

Parmi toutes les variables des tests neuropsychologiques citées précédemment (papier-crayon et informatisés), aucune n'a montré de différence statistiquement significative entre l'évaluation pré et l'évaluation post-training, avec le test de Wilcoxon apparié.

b) Groupe entraîné sur ordinateur

Le test de Wilcoxon apparié ( $Z=-2.023$  ;  $p=.043$ ) a montré une différence statistiquement significative entre le temps de réponse moyen au TMT B à l'évaluation pré-training ( $76.4 \pm 31.34$  sec) et le TR à l'évaluation post-training ( $56 \pm 23.67$  sec). Les patients sont plus rapides dans la réalisation de cette tâche d'alternance après le training. On observe la même amélioration pour les temps de réponse au Mesulam désorganisé ( $Z=-2.023$  ;  $p=.043$ ) entre l'évaluation pré-training ( $90.8 \pm 21.93$  sec) et l'évaluation post-training ( $69.8 \pm 21.04$  sec). Les patients traumatisés crâniens qui ont bénéficié du training sur ordinateur ont également amélioré leurs temps de réponse dans cette épreuve d'attention sélective (Figure 13).

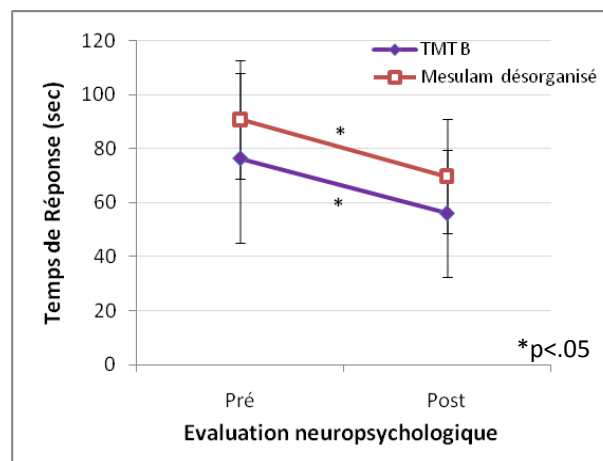


Figure 13. Comparaison des temps de réponse au TMT B et Mesulam désorganisé *entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training* chez les patients entraînés sur ordinateur

Concernant les tests informatisés (TEA) aucune variable n'a montré de différence statistiquement significative entre l'évaluation pré-training et le post-training.

c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney a ensuite été réalisé pour comparer les scores entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation pré-training. Seule une différence s'est révélée statistiquement significative en pré-test, il s'agit du TR au Mesulam organisé ( $U=3$  ;  $Z=-1.984$  ;  $p=.047$ ). Le groupe simulateur avait un temps de réponse moyen plus élevé ( $133.8 \pm 31$  sec) que celui du groupe ordinateur ( $84,4 \pm 9.84$  sec). Cette même différence significative ( $U=3$  ;  $z=-1.984$  ;  $p=.047$ ) se retrouve en post-test, toujours en faveur du groupe ordinateur ( $66.4 \pm 17.05$  sec) par rapport au groupe simulateur ( $109.2 \pm 37.14$  sec).

Enfin, en ce qui concerne la comparaison du gain obtenu (score post – score pré), aucune différence statistiquement significative n'a été retrouvée, que ce soit pour les tests papier-crayon ou les tests informatisés.

### Synthèse sur l'évolution des performances à l'évaluation neuropsychologique

Pour résumer, le groupe ordinateur s'est amélioré à un test d'attention sélective (Mesulam) et un test d'alternance attentionnelle (TMT), alors que le groupe simulateur n'a

( $U=2.5$  ;  $Z=-2.128$  ;  $p=.033$ ). L'amélioration de la compétence générale entre le pré-test et post-test est plus importante pour le groupe simulateur ( $5.7 \pm 3.44$  points) que pour le groupe ordinateur ( $1.2 \pm 1.25$  points). Ceci se vérifie aussi pour le sous-score vitesse (simulateur :  $2 \pm 1.32$  points ; ordinateur :  $0.1 \pm 1.08$  points). Par contre, aucune différence statistiquement significative n'a été montrée concernant les autres variables de la grille du parcours 1 (Figure 14) et les variables du parcours 2.

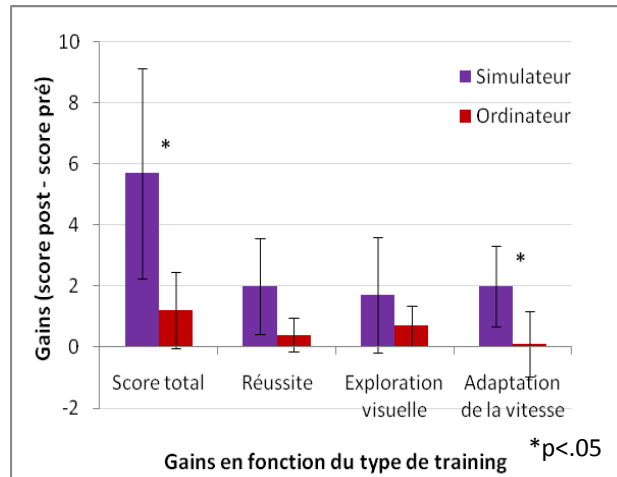


Figure 14. Comparaison du gain entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation sur simulateur (parcours 1)

L'analyse du gain a également permis de révéler une différence significative entre les deux groupes de training pour le temps de réponse à l'ouverture de portières en double tâche ( $U<.0001$  ;  $Z=-2.309$  ;  $p=.021$ ). Le groupe ayant bénéficié du training sur ordinateur obtient une diminution plus importante des TR ( $-339.38 \pm 134.45$  ms) que le groupe simulateur ( $22.25 \pm 285.57$  ms) entre le pré-test et le post-test (Figure 15). Autrement dit, le groupe ordinateur est plus rapide pour réagir à l'ouverture de portière en double tâche en post-test par rapport au pré-test ; et cette amélioration est bien plus importante comparée au groupe simulateur.

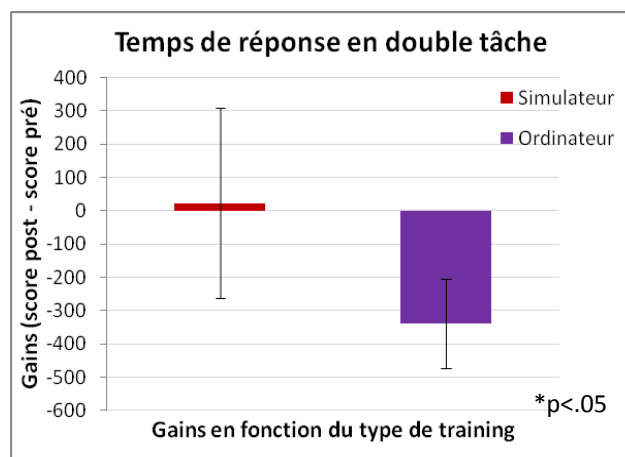


Figure 15. Comparaison du gain entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur à l'évaluation sur simulateur (parcours 2)

Le groupe simulateur obtient des TR relativement stables entre le pré-test et le post-test (22ms de différence) alors que le groupe simulateur gagne 339ms en post-test comparé au pré-test.

Les résultats de l'évolution des performances des deux groupes de training sont illustrés par la Figure 16.

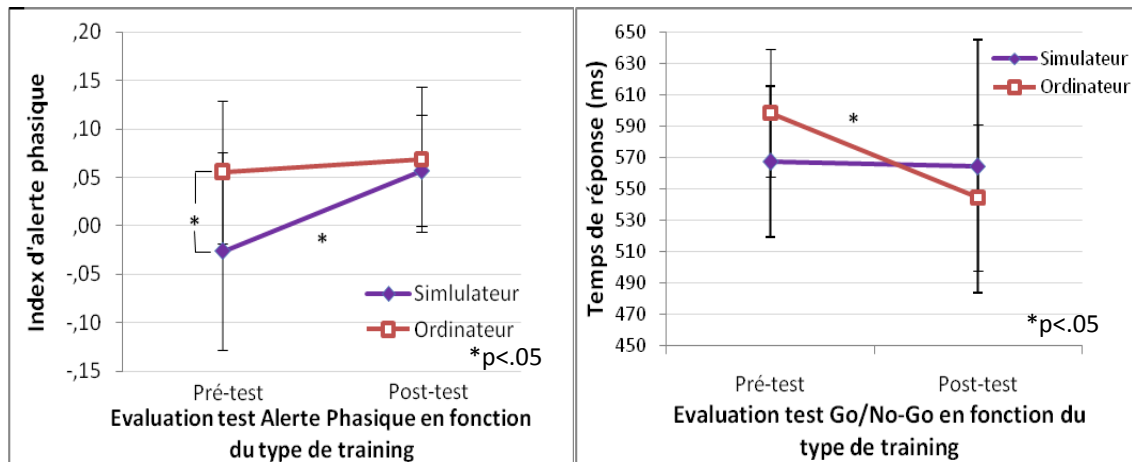


Figure 16. Comparaison des résultats au test d'alerte phasique et Go/No-go (TEA) entre l'évaluation pré-training et l'évaluation post-training, en fonction du groupe de training

En résumé, l'entraînement sur simulateur a permis d'améliorer l'alerte phasique, alors que l'entraînement sur ordinateur a permis d'améliorer l'attention sélective.

#### c) Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Le test de U de Mann-Whitney a ensuite été réalisé pour comparer les scores entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur. Les tests statistiques ont montré précédemment que le groupe simulateur s'était amélioré au test d'alerte phasique contrairement au groupe ordinateur. La question que nous nous sommes ensuite posés était de savoir si au départ (pré-test) les deux groupes obtenaient des résultats équivalents ou non. Les analyses ont révélé une différence initiale entre les deux groupes en pré-test pour l'index d'alerte phasique ( $U=13$  ;  $Z=-1.995$  ;  $p=.046$ ). Le groupe simulateur avait dès le départ un moins bon index d'alerte phasique ( $-0.036 \pm 0.10$ ) comparé au groupe ordinateur ( $0.056 \pm 0.07$ ). En revanche, on ne retrouve pas de différence entre les deux groupes pour cette variable lors du post-test ( $U=31.5$  ;  $Z=-0.053$  ;  $p=.958$ ) (Figure 16). En d'autres termes, le groupe simulateur s'est amélioré alors que les performances du groupe ordinateur se sont stabilisées.

De plus, les analyses soulignent une tendance à la significativité entre les deux groupes au post-test pour le temps de réponse au Mesulam désorganisé ( $U=14$  ;  $Z=-1.890$  ;  $p=.059$ ). En post-test, le groupe ordinateur est plus rapide pour répondre à cette tâche ( $58.25 \pm 6.09$  sec) que le groupe simulateur ( $69.63 \pm 13.09$  sec) alors que leurs performances ne différaient pas de manière significative lors de l'évaluation pré-test ( $U=29$  ;  $Z=-0.35$  ;  $p=.753$ ). Ceci corrobore ce que nous avons précédemment observé lors de l'analyse intra-groupe, soit une amélioration de la performance du groupe ordinateur au Mesulam entre le pré-test et le post-test, et aucune amélioration pour le groupe simulateur.

Enfin, une dernière différence a été mise en évidence, elle concerne le coût dû à l'alternance au test TMT (TMTB-TMTA) et elle tend à être significative ( $U=13.5$  ;  $Z=-1.946$  ;  $p=.052$ ). Lors de l'évaluation post-training, le coût de l'alternance est plus fort pour le groupe ordinateur ( $41 \pm 12.54$  sec) que le groupe simulateur ( $30.74 \pm 19.54$  sec) ; alors que ces deux groupes ne différaient pas de manière significative lors de l'évaluation pré-training ( $U=27$  ;  $Z=-0.526$  ;  $p=.599$ ). Le groupe simulateur a donc amélioré sa capacité de flexibilité attentionnelle.

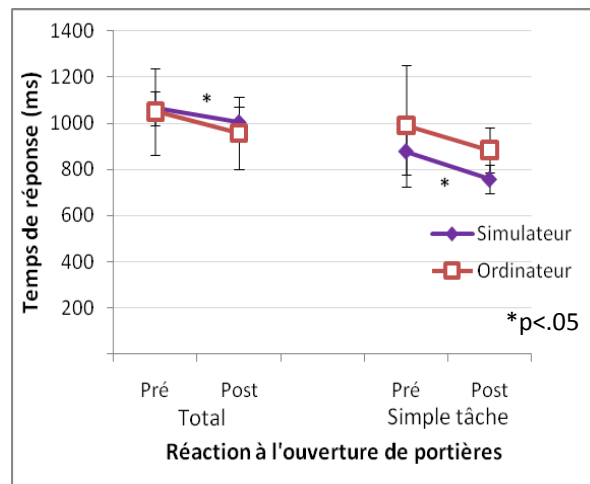


Figure 17. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'ouverture de portière sur simulateur de conduite entre le pré-test et le post-test, en fonction du type de training

On s'aperçoit que les deux groupes sont plus rapides pour répondre lors du post-test, que ce soit au TR total ou au TR en simple tâche. Cependant, seule la progression du groupe simulateur est significative.

### 2.3 Comparaison inter-groupe (échantillons indépendants)

Aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée entre les groupes simulateur et ordinateur lors du pré-test. Leur niveau de départ était donc semblable.

En revanche, on observe une différence significative entre les groupes lors du post-test concernant le score de double tâche ( $U=1$  ;  $Z=-2.918$  ;  $p=.004$ ). Ce score comprend toutes les variables de la grille (réussite, signalisation, placement, vitesse et exploration) mais ne mesure les performances de l'individu que lors de la double tâche (conversation avec l'expérimentateur). Le groupe simulateur obtient un score en double tâche significativement plus élevé ( $21.5 \pm 0.5$  points) que le groupe ordinateur ( $18.33 \pm 2.84$  points) en post-test, alors que ce score ne différerait pas de manière significative lors de l'évaluation pré-training ( $U=16.5$  ;  $Z=-0.648$  ;  $p=.517$ ). Les personnes âgées entraînées sur simulateur auraient donc amélioré leur performance de conduite globale sous la condition de double tâche comparée au groupe ordinateur.

Concernant le gain obtenu entre le pré-test et le post-test, le test de U de Mann-Whitney ne révèle aucune différence statistiquement significative entre les deux groupes de training.

#### Synthèse sur l'évolution des performances à l'évaluation sur simulateur de conduite

Les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite se sont davantage améliorées que les personnes ayant bénéficié du training sur ordinateur lors de l'évaluation sur simulateur. En effet, lors du post-test, le groupe simulateur a mieux exploré l'environnement routier. De plus, la conversation avec l'expérimentateur (double tâche) a eu un impact moindre sur leur performance de conduite en post-test. Enfin, le training sur simulateur a permis aux personnes âgées d'être plus rapides pour réagir et freiner à l'ouverture de portières, de manière globale et spécifique en condition de simple tâche.

En revanche, le groupe ordinateur ne s'est amélioré sur aucune variable de la grille, ni sur les temps de réaction.

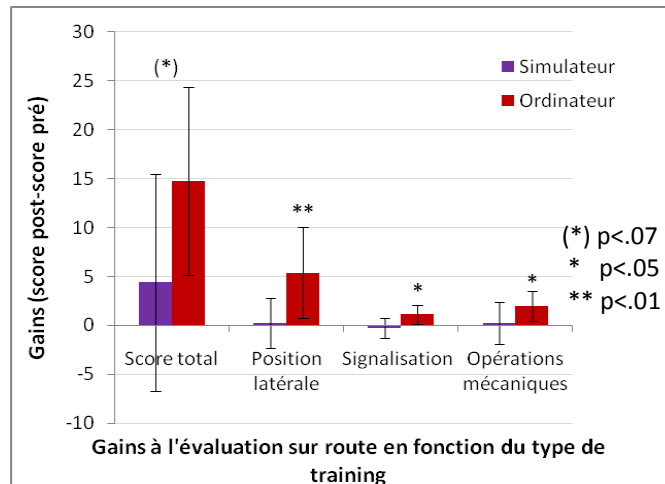


Figure 18. Comparaison du gain obtenu à l'évaluation sur route entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur

Les personnes âgées entraînées sur ordinateur se sont significativement plus améliorées que le groupe simulateur entre le pré-test et le post-test pour le sous-score de position latérale, de signalisation et d'opérations mécaniques. De plus, on note une tendance à la significativité pour le score général de conduite sur route. Le Tableau 29 compare le nombre de points gagnés entre le pré-test et le post-test pour le groupe simulateur et le groupe ordinateur.

Tableau 29. Comparaison du gain obtenu à l'évaluation sur route entre le groupe simulateur et le groupe ordinateur

Variables de la grille TRIP (en points)	Moyenne	Moyenne	Z	U	P
	Simulateur (ET)	Ordinateur (ET)			
Score total	4.38 (11.13)	14.74 (9.59)	-1.890	14	0.059*
Position latérale	0.25 (2.55)	5.38 (4.66)	-2.562	8	0.010
Signalisation	-0.25 (1.04)	1.13 (0.99)	-2.237	11.5	0.025
Opérations mécaniques	0.25 (2.12)	2.00 (1.51)	-1.981	13.5	0.048

\* tendance à la significativité (p<.07)

Cependant il faut prendre en considération le fait que le groupe simulateur était plus performant que le groupe ordinateur lors de l'évaluation pré-training (cf. paragraphe précédent) pour le score total, la position latérale et la signalisation. Ainsi, leur score étant plus faible dès le départ, il était plus facile de l'améliorer en post-test. Le groupe ordinateur s'est donc amélioré en post-test jusqu'à atteindre le niveau du groupe simulateur, pour ces quatre variables.

### 3.2 Test Ride for Investigating Practical fitness to drive (TRIP): scores complémentaires

Nous avons ensuite calculé les scores complémentaires de la grille TRIP : le score tactique, le score opérationnel et le score de compensation tactique. Ces nouveaux scores ont été analysés sur échantillon apparié puis sur échantillon indépendant.

Nous prendrons en compte le fait que lors du pré-test, le score opérationnel différait de manière significative entre les deux groupes. Le groupe simulateur obtenait dès le départ un meilleur score que le groupe ordinateur.

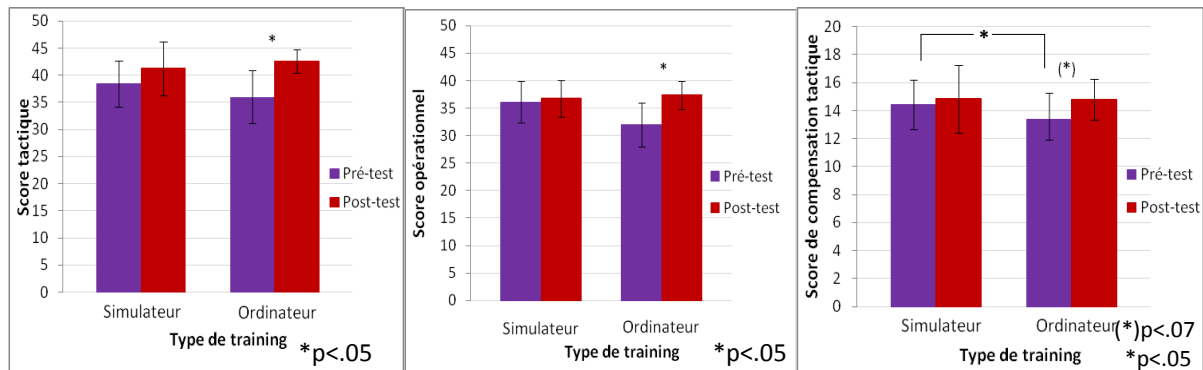


Figure 19. Comparaison des scores complémentaires entre le pré-test et le post-test en fonction du groupe de training

### Synthèse de l'évolution des performances à l'évaluation sur route

En résumé, le groupe ordinateur s'est bien plus amélioré que le groupe simulateur lors de l'évaluation sur route. Les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite ont seulement progressé en situations particulières (par exemple : les tourne-à-gauche). En revanche, les personnes entraînées sur ordinateur ont amélioré leur compétence générale de conduite sur route et ceci se reflète dans la majorité des sous-scores de la grille TRIP. De plus, le groupe ordinateur a amélioré de manière significative le niveau tactique et opérationnel de la conduite et de manière tendancielle le score de compensation tactique.

Cependant, le groupe simulateur était plus performant lors du pré-test que le groupe ordinateur pour certaines variables de la grille (position latérale, signalisation, communication et score de compensation tactique). Ainsi, concernant ses variables spécifiques, le groupe ordinateur a progressé pour atteindre le niveau du groupe simulateur.

## 4. Synthèse des résultats des personnes âgées

Les analyses de comparaison intra-groupe et inter-groupe concernant les personnes âgées ont révélé :

### - Pour l'évaluation neuropsychologique :

Lors du pré-test, le groupe ordinateur obtient un nombre de scores déficitaires aux tests neuropsychologiques légèrement supérieur au groupe simulateur. Cependant, il progresse en post-test pour atteindre le niveau du groupe simulateur.

On note également une différence entre les groupes au pré-test concernant l'index d'alerte phasique, en faveur du groupe ordinateur. En post-test, le groupe simulateur s'est amélioré pour rejoindre le niveau du groupe ordinateur.

Enfin, le groupe ordinateur a amélioré ses capacités d'attention sélective (Mesulam désorganisé et Go/No-go), alors que le groupe simulateur a amélioré ses capacités de flexibilité attentionnelle (coût dû à l'alternance au TMT) et d'alerte phasique.

### - Pour l'évaluation sur simulateur de conduite :

Les deux groupes (simulateur vs ordinateur) ont obtenu des performances similaires en pré-test pour toutes les variables de l'évaluation sur simulateur de conduite.

Seules les personnes âgées entraînées sur simulateur de conduite se sont améliorées lors de l'évaluation sur simulateur. En effet, ces dernières ont mieux exploré l'environnement routier, ont amélioré leur score à la grille en double tâche et ont été plus rapides pour percevoir le danger (TR total et de simple tâche lors de la tâche d'ouvertures de portières).

## 1. Training sur simulateur de conduite

Les cinq études de cas qui vont être présentées suivent la même trame, les mesures utilisées pour chacun des exercices de training attentionnel sur simulateur de conduite seront donc expliquées en détail lors de la première étude de cas et seront ensuite reprises de manière plus succincte lors des études de cas suivantes.

### 1.1 Patient 1

La patiente 1 est une femme de 25 ans, victime d'un accident de la route en 2010. Elle a subi un traumatisme crânien grave (GCS=6) avec des lésions temporo-occipito-pariétales gauches. Elle a effectué l'évaluation pré-training 10 mois après son traumatisme.

#### a) Tâche d'alerte phasique

Dans un premier temps, nous rappelons que la tâche d'alerte phasique était scindée en deux parties de cinq minutes, la première consistait à réagir à l'apparition soudaine de l'obstacle sans qu'il soit prévenu, alors que dans la deuxième partie, les participants étaient prévenus de la survenue de l'obstacle par un avertisseur visuel (triangle rouge), censé faciliter la réaction. Dans le cas où le patient réagissait au stimulus avertisseur au lieu de réagir à l'apparition de l'obstacle, ses temps de réponse n'étaient pas enregistrés. La Figure 20 permet de comparer les temps de réponse moyens du patient 1 obtenus à la tâche d'alerte phasique dans deux conditions expérimentales : avec et sans avertisseur visuel.

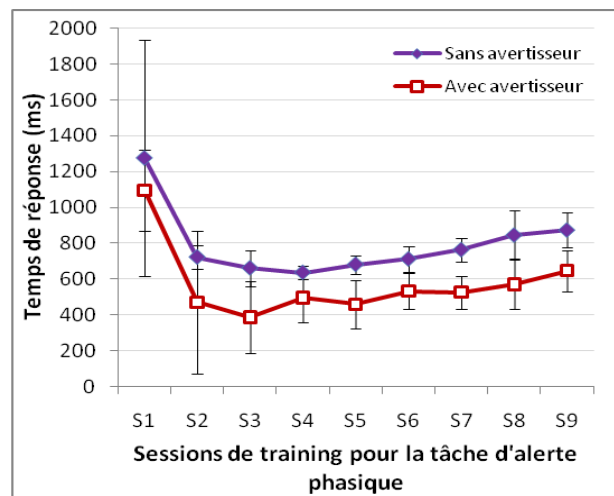


Figure 20 : Evolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 1)

Nous avons effectué une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs indépendants pour voir si il y avait un effet de la condition expérimentale (avec ou sans avertisseur) et/ou un effet des séances de training (avec 9 modalités) sur les temps de réponse. Enfin, l'ANOVA nous a permis de vérifier s'il n'y avait pas d'interaction entre ces deux facteurs. Les résultats ont révélé un effet significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=141.99$  ;  $p<.001$ ). La patiente est plus rapide pour freiner dans la condition avec stimulus avertisseur (TR moyen :  $581.32 \pm 242.97$  ms) en comparaison avec la condition sans avertisseur visuel (TR moyen :  $777.88 \pm 252.47$  ms) toute sessions confondues.

Ensuite, on note un effet de la variable session sur les temps de réponse ( $F(8,17)=44.11$  ;  $p<.001$ ). L'analyse post-hoc avec le test Bonferroni montre que les temps de réponse de la première session diffèrent de manière statistiquement significative des temps de réponse de toutes les autres sessions de training (par exemple  $S1=1185 \pm 443$  ms ;  $S3=524.19$



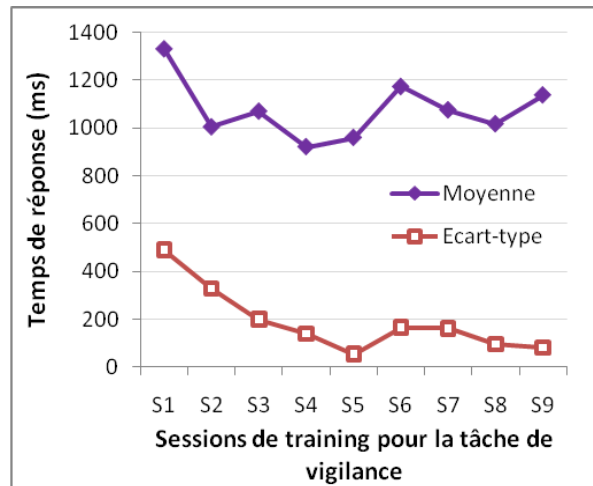


Figure 21. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patient 1)

L'ANOVA à un facteur permet de conclure à un effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,105)=3.43$  ;  $p<.002$ ). Les tests post-hoc montrent que cet effet est dû à une différence significative entre les temps de réponse de la première session (S1=1332 ± 489.64 ms) et les temps de réponse de la session 2 (S2=1004 ± 328.16 ms ;  $p<.003$ ), session 4 (S4=920 ± 139.67 ms ;  $p<.001$ ), session 5 (S5= 959.18 ± 54.37 ms ;  $p<.008$ ) et session 8 (S8=1016.67 ± 94.37 ms ;  $p=.046$ ). Lorsqu'on observe la Figure 21, on s'aperçoit qu'il ne s'agit pas d'une diminution progressive des temps de réponse mais plutôt d'une fluctuation d'une séance à une autre.

Cependant, l'écart-type diminue progressivement de la première session à la cinquième session (S1=489.64 ms ; S5=54.37 ms), puis remonte légèrement (S6=165.36 ms ; S7=161.47 ms) pour finalement se stabiliser (S8=94.37 ms). Il semblerait donc que la patiente diminue la variabilité de ses TR au cours des différentes sessions de training.

### c) Tâche d'attention sélective

La tâche d'attention sélective consistait à sélectionner un panneau-cible (information pertinente) parmi tous les panneaux de l'environnement. Pour ce faire, le patient était confronté à des panneaux routiers présentés à gauche de la route et à droite. Le patient devait répondre verbalement par « oui » si la cible était présente et préciser de quel côté elle se situait, ou par « non » si elle était absente. Ainsi, nous avons comptabilisé le nombre d'erreurs effectuées par le patient (erreur d'omission : il répond non au lieu de oui, erreur de confusion : il répond oui au lieu de non ou il répond « oui à droite » au lieu de « oui à gauche »). La variable dépendante utilisée est la somme totale des erreurs. Le test du Q' permet de travailler sur des proportions, ainsi il a été utilisé pour analyser les erreurs. Ce test a été effectué sur le facteur « session de training » à neuf modalités avec pour objectif d'observer l'évolution du nombre d'erreurs d'une session à une autre. Le nombre de facteurs étant inférieur à deux, c'est la version classique du test Q' 2xk qui a été utilisée. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les séances ( $Q'(8)=7.87$  ;  $p=.446$ ). La proportion des erreurs est restée stable d'une séance à une autre. La Figure 22 rapporte le nombre d'erreurs pour chacune des neuf sessions.

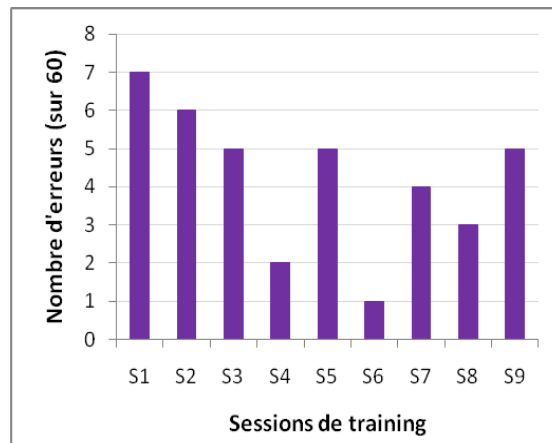


Figure 22. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 1)

Le nombre total d'erreurs du patient 1 était de 38, avec une moyenne de 4 erreurs par session. On note une diminution du nombre d'erreurs de S1 à S4. Cependant ses performances fluctuent constamment. Il n'y a aucune stabilité dans ses réponses, par conséquent, on ne peut conclure à une amélioration entre les séances de training.

#### d) Tâche d'attention divisée

Nous rappelons que cette tâche était composée de deux parties de cinq minutes, une première partie où le participant effectuait la tâche de conduite seule et une deuxième partie où il effectuait en même temps une tâche de calcul mental. Durant les dix minutes d'exercice, des rafales de vent d'intensité différentes intervenaient régulièrement, requérant de la part du patient de maintenir et stabiliser la trajectoire de son véhicule.

Un grand nombre de mesures ont été enregistrées pour la tâche d'attention divisée. Dans un premier temps, le **nombre de franchissements de ligne** a été calculé en simple tâche puis en double tâche, représentant ainsi le nombre d'erreurs. Un franchissement de ligne était considéré à partir du moment où une des roues du véhicule du participant atteignait la ligne blanche de droite ou de gauche qui bordent la voie routière. Le véhicule du participant était de petit gabarit, les mesures ont été établies en fonction d'une voiture de type Clio. Le nombre de franchissement total du patient était de 170.

La première variable dépendante utilisée est donc la somme totale des franchissements de lignes. Le test du Q' a été effectué sur le facteur « tâche » (simple ou double), « côté du franchissement » (droit ou gauche), et « sessions » (au nombre de neuf). Le nombre de facteurs étant supérieur à deux, nous n'avons pu utiliser la version classique du test Q' 2xk. Ainsi, c'est une version modifiée qui a été utilisée : 2x2xk (Michael, 2007). Ce test non paramétrique pour analyse de cas unique a révélé un effet principal de la tâche ( $Q'(1)=5.79$  ;  $p=.016$ ) (Figure 23). La proportion d'erreurs (de franchissement de ligne) était plus importante en double tâche ( $0.034 \pm 0.035$ ) comparée à la simple tâche ( $0.022 \pm 0.018$ ). L'ajout d'une tâche complémentaire a eu pour effet d'augmenter le nombre d'erreurs à la tâche principale de conduite. Le test a ensuite révélé un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=5.79$  ;  $p=.016$ ). La patiente 1 a franchi une proportion plus importante de lignes à droite ( $0.034 \pm 0.034$ ) que de lignes à gauche ( $0.022 \pm 0.019$ ), toute condition confondue (tâche et session). Enfin, l'effet principal de la session s'est avéré très significatif ( $Q'(8)=42.08$  ;  $p<.0001$ ). La proportion des erreurs a progressivement diminué entre la première et la dernière session (S1=0.265 ; S3=0.106 ; S6=0.076 ; S9=0.024).

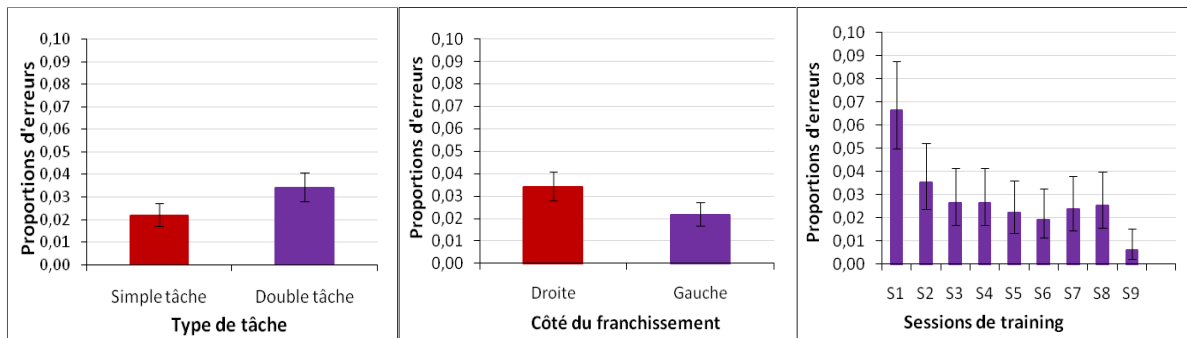


Figure 23. Effet principal du type de tâche, du franchissement et de la session (Patient 1)

Après ces trois effets principaux, l'analyse du Q' a révélé une interaction qui tend à être significative entre la session et le type de tâche ( $Q'(8)=14.63$  ;  $p=.067$ ). Selon les tests de comparaisons multiples l'effet principal de la session (diminution du nombre d'erreur d'une session à une autre) s'observe seulement en double tâche (Figure 24). Cette interaction pourrait s'expliquer par le fait qu'il y ait une différence significative entre S1 et S9 en double tâche ( $Q'(8)=4.99$  ;  $p<.002$ ) alors qu'il n'y en pas en simple tâche. Autrement dit la patiente s'est améliorée entre la première et la dernière session seulement en double tâche.

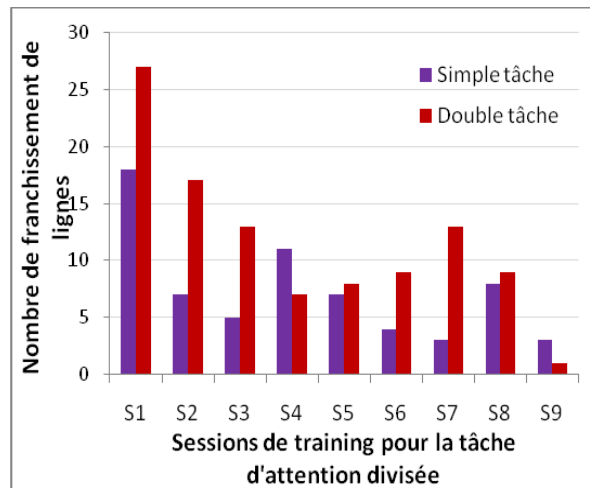


Figure 24. Interaction entre la session de training et le type de tâche (Patient 1)

Enfin, le test du Q' a révélé une double interaction entre la session, le côté de la ligne et le type de tâche ( $Q'(8)=25.09$  ;  $p<.002$ ). La situation pour laquelle la proportion d'erreurs est moindre concerne les franchissements de ligne à droite en situation de simple tâche lors de la dernière session.

Nous avons ensuite calculé la **déviati on standard de la position du véhicule** en fonction du type de tâche (simple ou double) (Figure 25). La déviati on standard du véhicule est représentée par la distance en centimètre entre l'axiale de la route (ligne médiane) et le centre de gravité du véhicule.

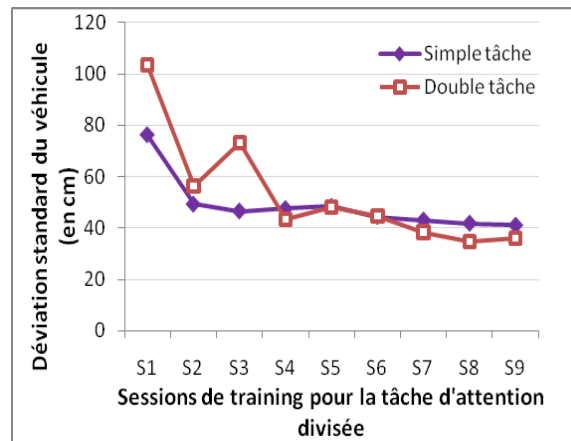


Figure 25. Evolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 1)

Il faudra porter une attention toute particulière sur le fait qu'aucune analyse statistique n'a pu être effectuée sur cette mesure étant donné qu'il s'agit d'une valeur unique (l'écart-type), les résultats sont donc descriptifs. Lorsqu'on prend en compte la déviation moyenne du véhicule, toutes conditions confondues (simple et double tâche), on remarque qu'elle diminue d'une séance à une autre (S1=89.82 cm ; S3=59.92 cm ; S6=44.49 cm ; S9=38.46 cm). Que ce soit en double tâche ou en simple tâche le profil semble similaire, à savoir une diminution progressive en centimètre de la déviation du véhicule. Cependant, cette diminution semble s'accroître lors de la double tâche. En effet, en situation de double tâche l'écart entre la première session et la dernière session est plus important (S1=103.37 cm ; S9=35.90 cm ; écart=67.47 cm) qu'en situation de simple tâche (S1=76.26 cm ; S9=41.01cm ; écart=35.25 cm).

Enfin, la **vitesse kilométrique** moyenne a été calculée de façon à pouvoir comparer l'allure à laquelle le patient roulait en simple tâche avec son allure kilométrique en double tâche.

Dans un premier temps, L'ANOVA à deux facteurs (sessions et type de tâche) a révélé un effet principal du type de tâche sur la vitesse kilométrique ( $F(1,17)=28.59$  ;  $p<.001$ ). La vitesse kilométrique moyenne, toutes sessions confondues, est plus haute en condition de double tâche ( $79.89 \pm 6.87$  km/h) comparée à la condition de simple tâche ( $74.57 \pm 6.31$  km/h). La patiente roule plus vite lors de la tâche de calcul mental. Un effet principal de la session a ensuite été mis en évidence ( $F(8,17)=9.18$  ;  $p<.001$ ). Le test complémentaire de Bonferroni a révélé une augmentation que la vitesse kilométrique d'une session de training à une autre, tout types de tâches confondues (chaque session diffère au moins d'une session qui la précède ou qui la suit). Enfin, l'interaction session\*tâche s'est aussi révélée significative ( $F(8,17)=3.26$  ;  $p<.003$ ). Les tests post-hoc ont montré un effet plus prononcé de la variable « session » en situation de simple tâche ( $F(8,44)=8.55$  ;  $p<.001$ ) comparée à la situation de double tâche ( $F(8,44)=4.82$  ;  $p<.001$ ). En d'autres termes, la patiente 1 avait tendance à rouler plus vite d'une session sur l'autre et d'autant plus en situation de simple tâche (Figure 26).

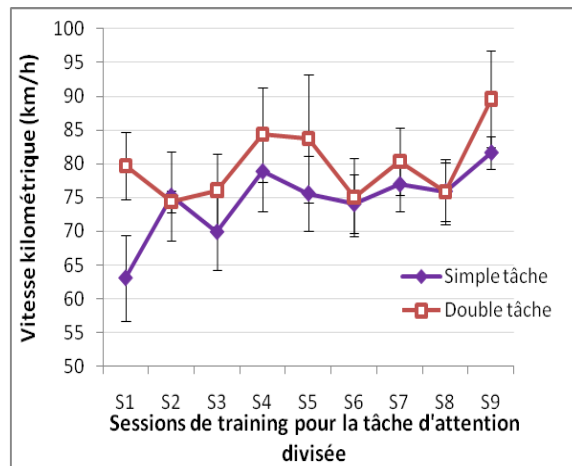


Figure 26. Interaction entre les sessions de training et la condition expérimentale (Patient 1)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations de la vitesse kilométrique au sein d'une session de training (Figure 27).

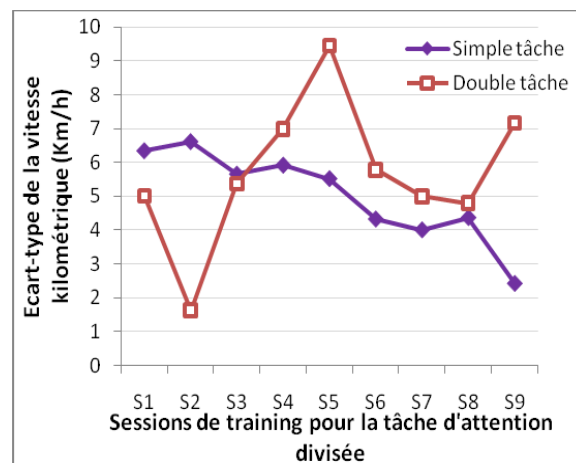


Figure 27. Evolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 1)

Comme précédemment, les résultats sont descriptifs en ce qui concerne l'écart-type. On s'aperçoit que le profil diffère en fonction de la condition expérimentale. En simple tâche l'écart-type de la vitesse kilométrique a tendance à diminuer d'une session à une autre (S1=6.33 ; S3=5.65 ; S6=4.33 ; S9=2.43) alors qu'en double tâche cet écart-type varie constamment (S1=5.02 ; S3=5.37 ; S6=5.78 ; S9=7.17). La patiente 1 a donc une variation intra-session de la vitesse kilométrique qui se stabilise au fur et à mesure des séances de training mais seulement en simple tâche. La double tâche entraînerait une variation constante de la vitesse du véhicule qui persisterait durant l'intégralité du training.

#### e) Synthèse des résultats du patient 1

La patiente 1 semble avoir une **alerte phasique préservée**. En effet, elle se sert de l'avertisseur visuel (triangle rouge) dès la première séance de training puisque ses temps de réponse sont plus rapides que dans la situation sans avertisseur. De ce fait, il n'y a pas d'amélioration notable entre les sessions de training, étant donné que le stimulus avertisseur joue le rôle escompté dès le début du programme d'entraînement. Cependant, on observe une

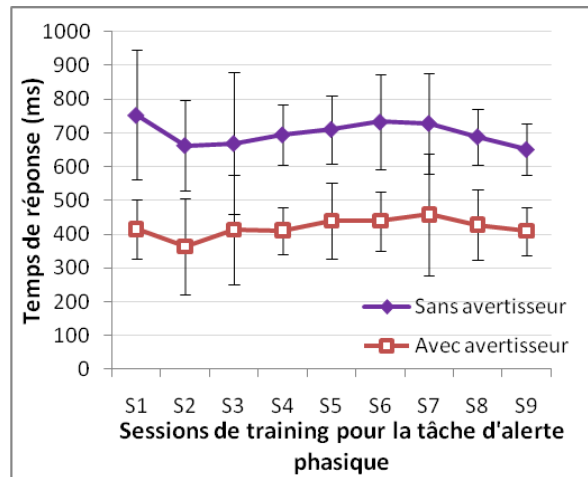


Figure 28. Evolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 2)

L'analyse de la variance a révélé un effet statistiquement significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=504.08$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse du patient étaient plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $423.95 \pm 113.98$  ms) comparés à la condition sans avertisseur visuel ( $699.43 \pm 140.24$  ms) toute session confondue. En revanche, il n'y a pas d'effet de la variable session sur les temps de réponse ni d'interaction entre ces deux facteurs. Ceci laisse supposer qu'il n'y a pas d'amélioration des performances durant l'intégralité du training et que le pattern d'évolution des temps de réponse est similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. Par conséquent, le patient 2 se sert autant du stimulus avertisseur au début de training qu'en fin de training.

Dans la condition avec avertisseur visuel, une autre variable a été prise en compte, il s'agit du temps d'alerte, variable d'un essai à un autre. La Figure 29 présente les temps de réponse moyens à la tâche en fonction du temps d'alerte, toutes sessions confondues.

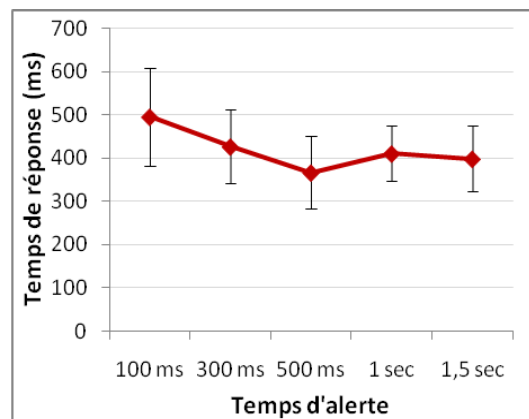


Figure 29. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'alerte en fonction du temps d'alerte (Patient 2)

Une ANOVA à un facteur a été réalisée sur le facteur temps d'alerte avec cinq modalités. Les résultats ont montré un effet principal du temps d'alerte sur les performances à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,44)=10.43$  ;  $p<.001$ ). Les analyses post-hoc montrent que les meilleurs temps de réponse du patient, toutes sessions de training confondues, s'observent lorsque le temps d'alerte est de 500 ms ( $366.44 \pm 83.44$  ms).

Ce patient semble donc utiliser l'avertisseur visuel comme indice puisqu'il répond plus rapidement dans la condition avec avertisseur comparé à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez Le patient 2. De plus, le temps d'alerte impacterait ses temps de réponse et serait optimal à 500 millisecondes.

#### b) Tâche de vigilance

La Figure 30 présente les TR moyens du patient 2 et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session de training.

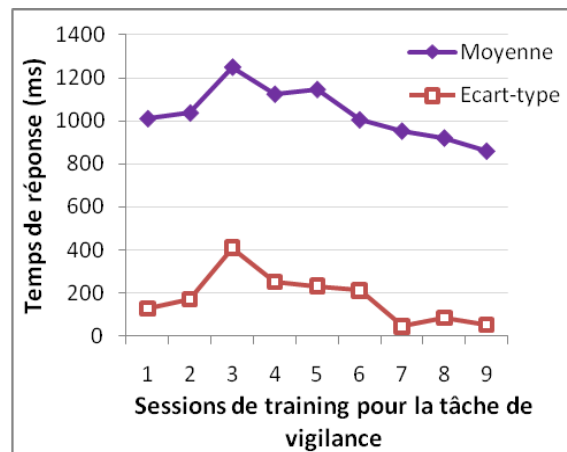


Figure 30. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse et évolution de l'écart-type à la tâche de vigilance (Patient 2)

L'ANOVA à un facteur a révélé un effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,104)=4.08$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse du patient ont diminué à partir de la sixième séance, mais les tests post-hoc ont montré une différence significative seulement entre les TR de la dernière séance et les session qui précèdent. En effet, ce patient est plus rapide lors de la dernière session de training ( $858.08 \pm 51.04$  ms) comparé à la troisième ( $1249.70 \pm 409.61$  ms ;  $p<.001$ ), la quatrième ( $1123.67 \pm 252.11$  ms ;  $p=.063$ ) et la cinquième session ( $1145.67 \pm 232.16$  ms ;  $p=.027$ ). Il s'agit d'une diminution progressive des temps de réponse, ce qui explique que chaque session n'est pas significativement différente des autres.

De plus, lorsqu'on regarde l'écart-type existant entre les douze temps de réponse session par session, on s'aperçoit qu'il est très faible lors des trois dernières sessions de training. Il semblerait donc que Le patient 2 est réduit la variabilité intra-session de ses TR, en plus d'avoir diminué ses temps de réponse moyen. De ce fait, il obtient des résultats plus homogènes durant cette tâche de dix minutes lors des dernières sessions de training.

#### c) Tâche d'attention sélective

Le test  $Q' 2 \times k$  n'a montré aucune différence significative entre les séances à la tâche d'attention sélective ( $Q'(8)=9.23$  ;  $p=.320$ ). Ainsi, la proportion d'erreurs reste stable d'une séance à une autre. Cependant, ce test compare des proportions, le nombre d'erreurs est donc ramené sur le nombre de stimuli total ( $N=60$ ). Or, si l'on regarde la Figure 31, on s'aperçoit que le patient 2 a fait sept erreurs en première session, puis ce chiffre chute brutalement à partir de S2. Il semblerait qu'il y ait un « effet plancher ». La difficulté de la tâche résiderait seulement dans l'effet de nouveauté qu'elle représente (en S1), puis le niveau deviendrait trop facile pour ce patient.

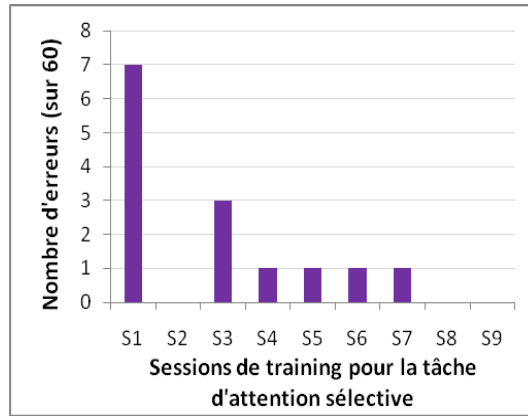


Figure 31. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 2)

d) *Tâche d'attention divisée*

Trois mesures principales ont été enregistrées durant la tâche d'attention divisée : le nombre de franchissements de ligne, la déviation standard de la position du véhicule et la vitesse kilométrique.

Concernant le **nombre de franchissements de ligne**, le test du Q' modifié 2x2xk a mis en exergue un effet principal du type de tâche ( $Q'(1)=8.97$  ;  $p<.003$ ) (Figure 32). Le nombre d'erreurs de franchissement de ligne était plus important en double tâche ( $157 \pm 5.61$ ) qu'en simple tâche ( $99 \pm 5.46$ ). L'ajout d'une tâche complémentaire (calcul mental) a donc eu pour effet d'augmenter le nombre d'erreurs à la tâche principale de conduite. Le test a ensuite indiqué un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=22.61$  ;  $p<.0001$ ). Le patient 2 a franchi plus de lignes à gauche ( $174 \pm 6.11$ ) que de lignes à droite ( $82 \pm 3.96$ ) toutes conditions confondues (tâche et session). Enfin, l'effet principal de la session s'est avéré très significatif ( $Q'(8)=36.88$  ;  $p<.0001$ ). Le nombre d'erreurs a diminué progressivement entre la première et la dernière session (S1=50 ; S3=32 ; S6=19 ; S9=13). Le nombre de franchissements total du patient était de 256.

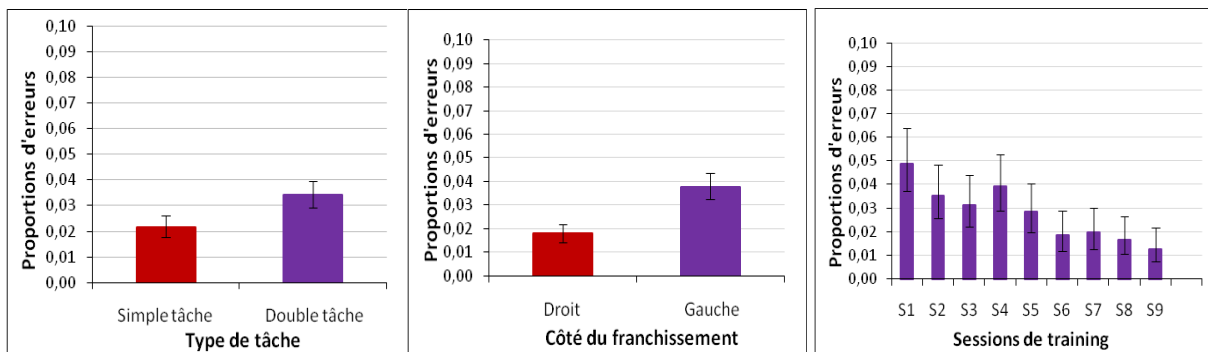


Figure 32. Effet principal du type de tâche, du côté du franchissement et de la session (Patient 2)

Après ces trois effets principaux, l'analyse du Q' a permis d'identifier plusieurs interactions. Tout d'abord une interaction entre le type de tâche et le côté de la ligne franchie ( $Q'(1)=8.45$  ;  $p<.004$ ) (Figure 33).



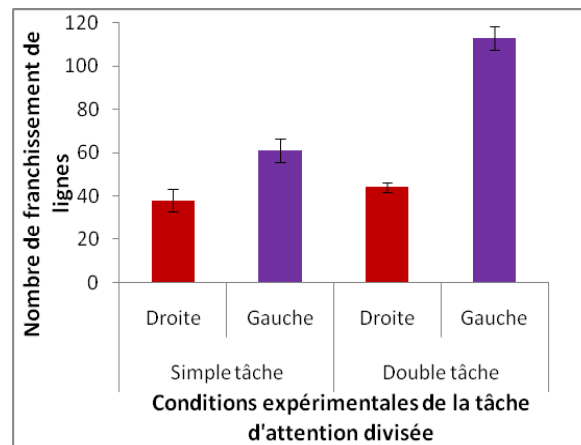


Figure 33. Interaction entre le type de tâche et la latéralité de la ligne franchie (Patient 2)

Les analyses post-hoc ont révélé un nombre de franchissements de lignes plus important à gauche, d'autant plus en condition de double tâche (tâche de calcul mental). La deuxième interaction concerne le côté de la ligne franchie et la variable session ( $Q'(8)=26.66$  ;  $p<.001$ ). Les analyses post-hoc montrent que le nombre d'erreurs diminue dès la deuxième session et devient statistiquement significatif à la session sept pour les lignes franchies à droite alors que pour le côté gauche c'est seulement la session quatre qui diffère de la dernière session de training. Autrement dit, en plus de faire plus de franchissement de lignes du côté gauche, la diminution de ses erreurs est plus tardive.

Enfin, on observe une double interaction entre la session, le côté de la ligne et le type de tâche ( $Q'(8)=22.36$  ;  $p<.004$ ). La situation pour laquelle le nombre d'erreurs est moindre concerne les franchissements de ligne à droite en situation de simple tâche lors de la septième session alors que la situation où il y a le plus d'erreurs concerne la première session en double tâche pour le côté gauche. En résumé, même si le test n'a pas révélé d'interaction entre les sessions et la condition de la tâche, la double interaction permet de conclure que le nombre d'erreurs est moindre en simple tâche.

Nous avons ensuite calculé la **déviat**ion standard de la position du véhicule en fonction du type de tâche (simple ou double) (Figure 34).

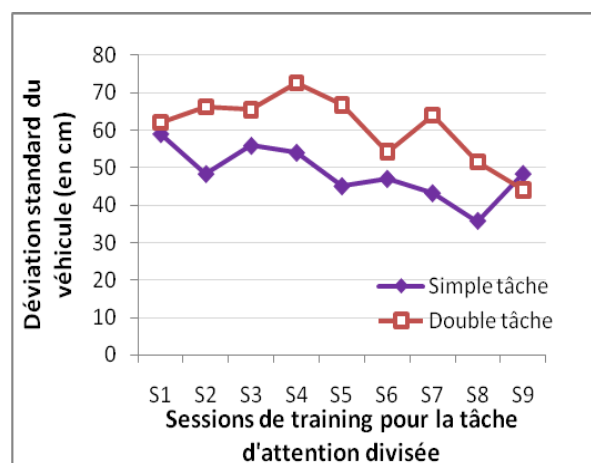


Figure 34. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 2)

Le type de tâche semble avoir un effet sur la déviation moyenne du véhicule. En effet, la déviation est plus importante en situation de double tâche ( $60.74 \pm 8.98$  cm) comparée à la situation de simple tâche ( $48.45 \pm 7.08$  cm) et ceci se vérifie dans huit sessions sur neuf

(excepté S9). De plus, on observe une légère diminution de la déviation du véhicule d'une séance de training à une autre, toute condition confondue (S1=60.55 cm ; S3=60.64 cm ; S6=50.59 cm ; S9=46.17 cm). Que ce soit en double tâche ou en simple tâche, le profil semble similaire, à savoir une diminution progressive en centimètre de la déviation du véhicule. Le coût dû à la double tâche ne s'améliorerait donc pas sur cette mesure.

Enfin, concernant la **vitesse kilométrique**, L'ANOVA à deux facteurs (sessions et type de tâche) a seulement révélé un effet principal de la session ( $F(8,17)=3.06$  ;  $p<.005$ ). Le test complémentaire de Bonferroni a montré une certaine stabilité de la vitesse kilométrique de la première à la sixième session, puis une diminution significative à la session sept et neuf (S1=97.64  $\pm$  7.07 km/h ; S7=87.25  $\pm$  2.16 km/h ; S9=89.06  $\pm$  2.83 km/h). Autrement dit, le patient 2 a tendance à rouler plus doucement lors des dernières sessions comparées à la première (Figure 35). La double tâche n'influe donc pas sur la vitesse kilométrique.

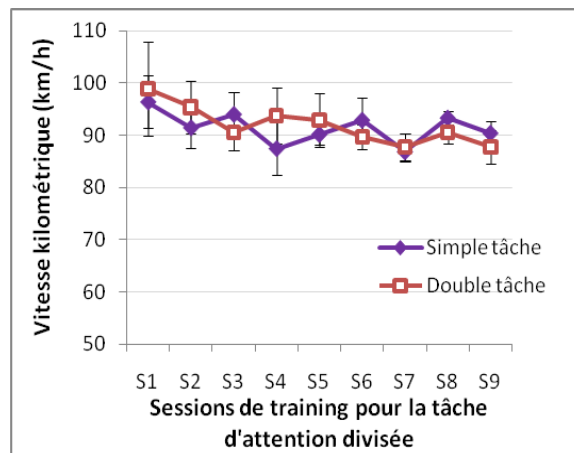


Figure 35. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 2)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations kilométriques au sein d'une session de training (Figure 36).

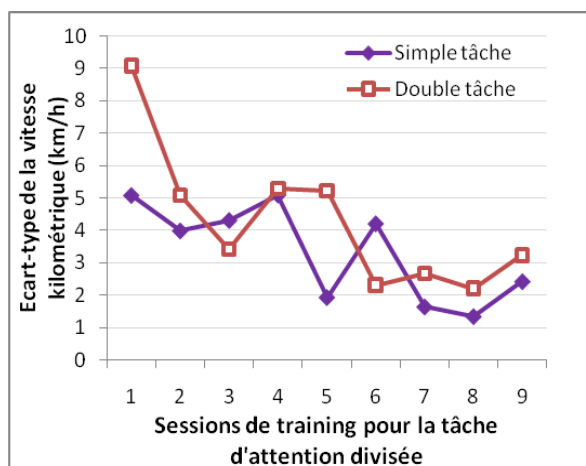


Figure 36. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition (Patient 2)

On s'aperçoit que le profil est semblable entre les deux conditions expérimentales. En effet, l'écart-type de la vitesse kilométrique diminue d'une session de training à une autre, que ce soit en simple tâche (S1=5.07 ; S3=4.30 ; S6=4.20 ; S9=2.42) ou en double tâche (S1=9.08 ; S3=3.43 ; S6=2.31 ; S9=3.23). Le patient 2 a donc stabilisé son allure kilométrique

a) *Tâche d'alerte phasique*

La Figure 37 permet de comparer les temps de réponse moyens du patient 3 obtenus à la tâche d'alerte phasique dans deux conditions expérimentales : avec et sans avertisseur visuel.

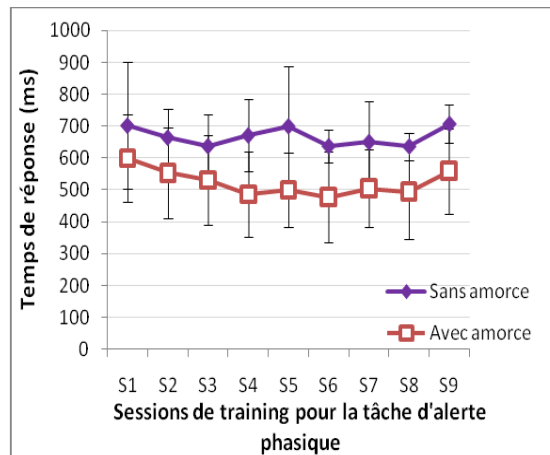


Figure 37. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 3)

Les résultats de l'ANOVA ont révélé un effet significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=96.74$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse sont plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $520.31 \pm 164.11$  ms) que dans la condition sans avertisseur visuel ( $666.73 \pm 120.85$  ms) toutes sessions confondues. En revanche il n'y a pas d'effet de la variable session sur les temps de réponse ni d'interaction entre ces deux facteurs. Ceci laisse supposer qu'il n'y a pas d'amélioration des performances durant l'intégralité du training et que le pattern d'évolution des temps de réponse est similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. Par conséquent, le patient 3 se sert du stimulus avertisseur aussi bien en première session qu'en dernière.

La Figure 38 présente les temps de réponse moyen à la tâche en fonction du temps d'alerte, toutes sessions confondues.

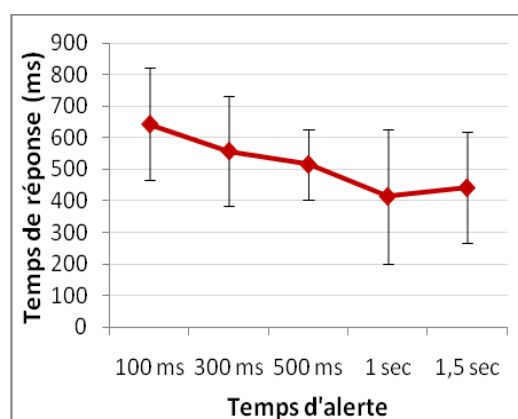


Figure 38. Comparaison des temps de réponse à la tâche d'alerte phasique en fonction du temps d'alerte (Patient 3)

Les résultats de l'ANOVA ont montré un effet principal du temps d'alerte ( $F(4)=7.99$  ;  $p<.001$ ). Les analyses post-hoc ont révélé que les meilleurs temps de réponse du patient, toute session de training confondue, s'observent lorsque le temps d'alerte est d'une seconde ( $414.11 \pm 213.11$  ms). Ces TR diffèrent de manière significative avec les temps de réponse

obtenus lorsque le temps d'alerte était court (100ms :  $p < .001$  ; 300 ms :  $p = .033$ ). En effet, plus le temps d'alerte est court plus les TR du patient sont élevés (100 ms :  $643.33 \pm 177.33$  ms ; 300 ms :  $557.89 \pm 173.11$  ms).

Ce patient semble donc utiliser l'avertisseur visuel comme indice puisqu'il répond plus rapidement dans la condition avec avertisseur comparé à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez la patiente 3. De plus, le temps d'alerte impacterait ses temps de réponse et serait optimal à une seconde.

b) Tâche de vigilance

La Figure 39 présente les TR moyens et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session de la tâche de vigilance pour la patiente 3.

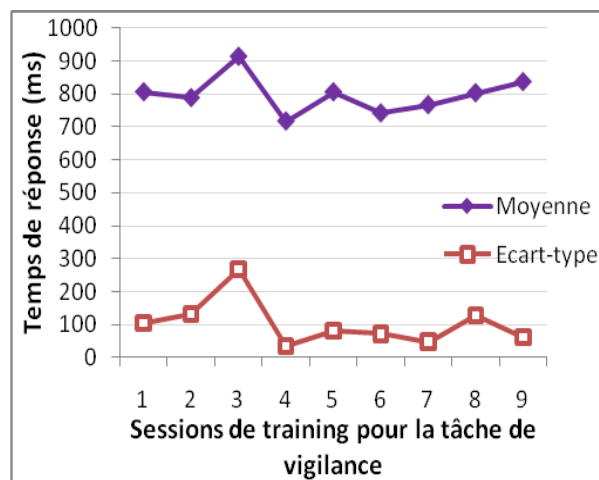


Figure 39. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patiente 3)

L'ANOVA à un facteur a révélé un effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,104)=2.52$  ;  $p=.016$ ). D'après les analyses complémentaires, cet effet s'explique par des TR en session trois qui sont plus élevés et différent des TR des autres sessions. Autrement dit, il ne s'agit pas d'une progression de la patiente 3 au cours du programme d'entraînement.

De plus, l'écart-type reste stable à travers toutes les sessions de training (excepté S3). Cependant, les écarts-types sont faibles dès la première session, ce qui laisse supposer que les TR de la patiente 3 varient peu au cours des dix minutes de tâche de vigilance. L'absence d'amélioration se justifierait donc par le fait que la patiente 3 n'a pas de difficulté à répondre aussi efficacement aux douze stimuli. Cette tâche de vigilance présenterait alors un « effet plancher ». La patiente n'éprouvant pas de difficulté particulière à la réaliser en début de programme, il ne pourrait s'améliorer d'avantage lors des sessions suivantes.

c) Tâche d'attention sélective

Le test  $Q' 2 \times k$  n'a montré aucune différence significative entre les séances ( $Q'(8)=6.57$  ;  $p=.580$ ). Si la proportion des erreurs reste stable d'une séance à l'autre, on s'aperçoit cependant, que la patiente 3 fait peu d'erreurs dès la première session (S1=2 erreurs) et ne dépasse jamais les trois erreurs (Figure 40). De ce fait, nous postulons à un « effet plancher ». Autrement dit, cette tâche ne semble pas assez sensible pour stimuler l'attention sélective chez ce patient.

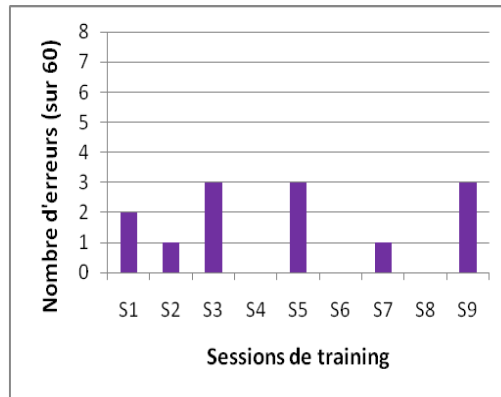


Figure 40. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 3)

d) Tâche d'attention divisée

Dans un premier temps, le test du  $Q'$   $2 \times 2 \times k$  a été utilisé pour analyser le **nombre de franchissements de ligne** ( $N=237$ ). Les résultats ont révélé un effet principal du type de tâche ( $Q'(1)=5.32$  ;  $p<.020$ ) (Figure 41). Le nombre de franchissements de ligne était plus important en double tâche ( $140 \pm 8.67$ ) comparé à la simple tâche ( $97 \pm 7.14$ ), toutes sessions confondues. L'ajout d'une tâche complémentaire a donc eu pour effet d'augmenter le nombre d'erreurs à la tâche principale de conduite chez la patiente 3. Le test a ensuite indiqué un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=67.9$  ;  $p<.0001$ ). La patiente a franchi plus de lignes à droite ( $195 \pm 8.49$ ) que de lignes à gauche ( $42 \pm 2.25$ ) toutes conditions confondues (tâche et session). Enfin, l'effet principal de la session s'est avéré significatif ( $Q'(8)=52.19$  ;  $p<.0001$ ). Après analyses complémentaires, il s'est avéré que cet effet soit en partie dû à la chute du nombre d'erreurs dès la deuxième session de training. Les tests mettent en évidence une différence significative entre la première session ( $S1=58$ ) et la deuxième ( $S2=20$  ;  $p<.003$ ), la sixième ( $S6=9$  ;  $p<.001$ ), la huitième ( $S8=12$  ;  $p<.001$ ) et la dernière ( $S9=17$  ;  $p<.001$ ). Ainsi, il ne s'agit pas d'une diminution progressive du nombre de franchissements de ligne.

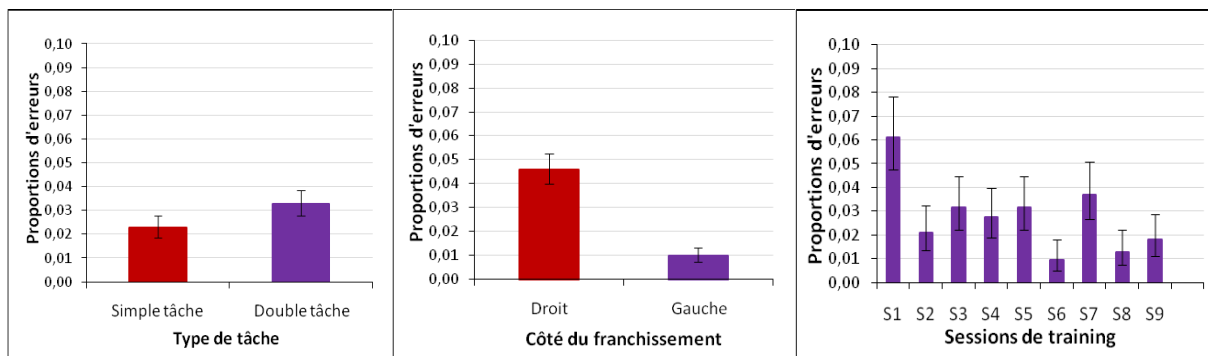


Figure 41. Effet principal du type de tâche, du côté du franchissement et de la session (Patient 3)

L'analyse du  $Q'$  a également révélé plusieurs interactions. Tout d'abord une interaction entre le type de tâche et le côté de la ligne franchie ( $Q'(1)=19.52$  ;  $p<.001$ ) (Figure 42).

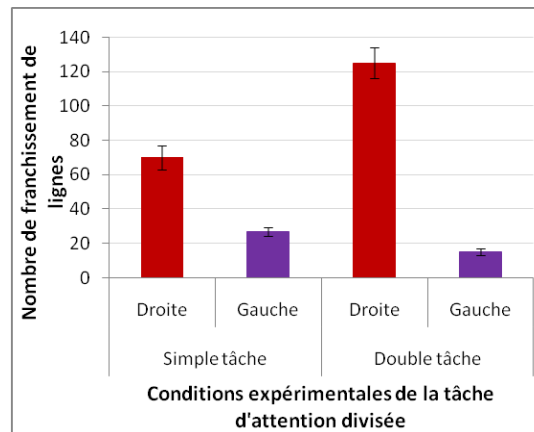


Figure 42. Interaction entre le type de tâche et la latéralité de la ligne franchie (Patient 3)

La patiente 3 a franchi un nombre plus important de lignes à droite que de lignes à gauche dans les deux types de tâches (simple :  $p < .001$  ; double :  $p < .001$ ), mais cet écart s'accroît largement lors de la double tâche.

Enfin, le test du Q' a révélé une double interaction entre la session, le côté de la ligne et le type de tâche ( $Q'(8) = 36.19$  ;  $p < .0001$ ). La situation pour laquelle le nombre d'erreurs est le plus élevé concerne les franchissements de ligne à droite en situation de double tâche lors de la première session (N=29) alors que la situation où la patiente fait le moins d'erreurs est en condition de simple tâche du côté gauche également lors de la première session (N=1). Ceci signifie que la patiente 3 n'a pas de difficulté à éviter les franchissements de ligne à gauche lorsqu'il est en simple tâche et ceci dès la première séance de training. En revanche, il fait plus d'erreurs de franchissement de ligne à droite, d'autant plus lorsqu'il est en situation de double tâche. Autrement dit, la double tâche impacterait seulement les erreurs de franchissement de ligne à droite.

La **déviat**ion standard de la position du véhicule a ensuite été calculée en fonction du type de tâche (simple ou double) (Figure 43).

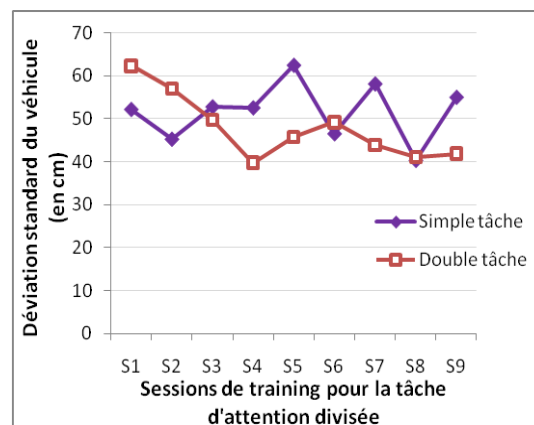


Figure 43. Évolution de la déviation standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 3)

Le type de tâche semble avoir un effet sur la déviation moyenne du véhicule. En effet, durant les deux premières sessions de training, la déviation est plus importante en situation de double tâche comparée à la situation de simple tâche. Cependant, la tendance s'inverse par la suite, la patiente semble diminuer la déviation de son véhicule d'une séance à une autre mais seulement en situation de double tâche (S1=62.29 cm ; S3=49.68 cm ; S6=49.16 cm ; S9=41.83 cm). En condition de simple tâche, la déviation est très fluctuante et on ne note pas

de réelle amélioration au cours du programme d'entraînement (S1=52.15 cm ; S3=52.78 cm ; S6=46.51 cm ; S9=54.99 cm). Le profil semble donc dissimilaire en fonction du type de tâche, à savoir une diminution progressive en centimètre de la déviation du véhicule en double tâche et une fluctuation en simple tâche. Par conséquent, le coût de la double tâche sur la déviation réduit au cours du programme d'entraînement.

Enfin, concernant la **vitesse kilométrique**, l'ANOVA a seulement révélé un effet principal de la session ( $F(8,17)=2.87$  ;  $p<.008$ ). Les tests complémentaires de Bonferroni ont mis en avant une fluctuation de la vitesse kilométrique entre les sessions de training aussi bien en simple tâche qu'en double tâche (Figure 44). La patiente 3 augmente progressivement sa vitesse kilométrique de la session trois ( $57.65 \pm 3.7$  km/h) à la session sept ( $70.3 \pm 3.84$  km/h). Cependant, il n'y a pas d'effet principal du type de tâche, ni d'interaction entre les deux facteurs. Ceci laisse supposer que le profil kilométrique n'est pas influencé par l'ajout d'une tâche complémentaire.

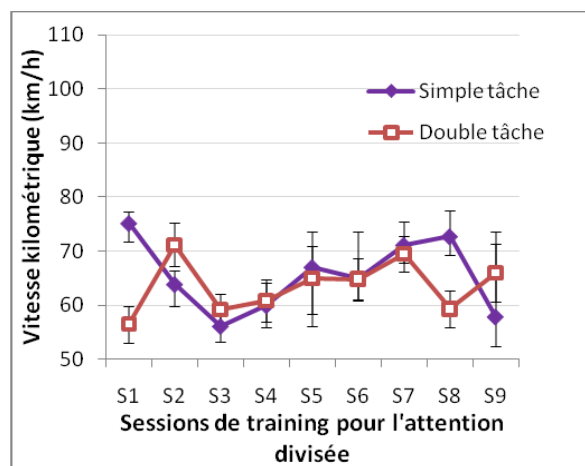


Figure 44. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 3)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations kilométrique au sein d'une session de training (Figure 45).

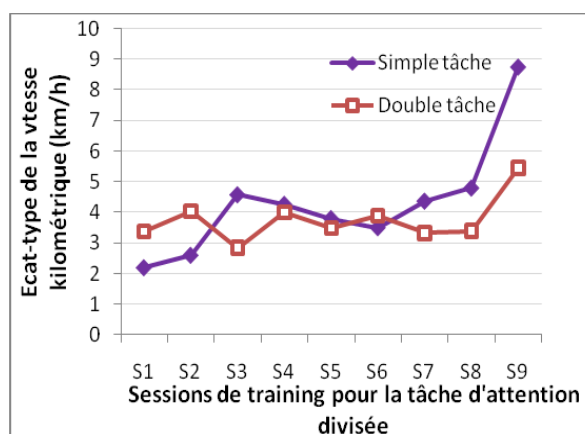


Figure 45. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 3)

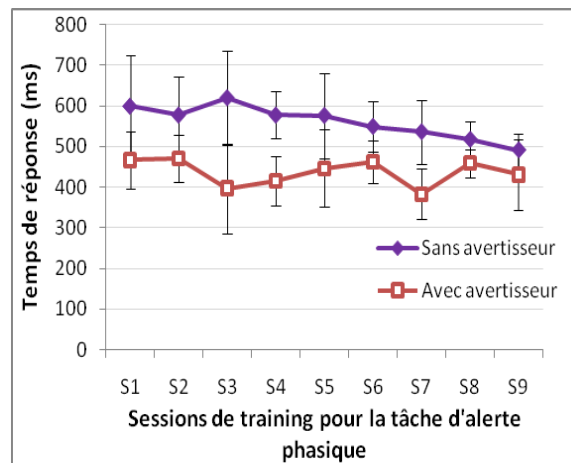


Figure 46. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 4)

Les résultats de l'ANOVA ont souligné un effet significatif de la condition expérimentale ( $F(1,17)=261.49$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse sont plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $436.75 \pm 77.69$  ms) comparé à la condition sans avertisseur visuel ( $560.22 \pm 92.56$  ms), toutes sessions confondues. Ensuite, on note un effet de la variable session sur les temps de réponse ( $F(8,17)=4.92$  ;  $p<.001$ ). L'analyse post-hoc montre que les TR de la dernière session ( $461 \pm 63.5$  ms) diminuent significativement par rapport aux TR de la première ( $533 \pm 98$  ms ;  $p<.001$ ) et de la deuxième session de training ( $524 \pm 75.5$  ms ;  $p<.006$ ), quelle que soit la condition expérimentale. Il ne s'agit pas d'une chute des temps de réponse car on n'observe pas de différence d'une session de training à une autre. Seul l'écart entre les premières sessions et la dernière est significatif, laissant supposer une diminution progressive des TR au cours du programme d'entraînement. En revanche, il n'y a pas d'interaction entre ces deux facteurs. Par conséquent, le pattern d'amélioration progressive des performances durant l'intégralité du training est statistiquement similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. La patiente 1 se sert autant du stimulus avertisseur lors de S1 que de S9 mais diminue sa vitesse de traitement de l'information.

L'ANOVA à un facteur n'a montré aucun effet du facteur temps d'alerte sur les temps de réponse à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,44)=1.24$  ;  $p=.309$ ). Ainsi le changement du temps d'alerte (court ou long) n'a pas d'influence sur les performances du patient 4.

Ce patient semble utiliser l'avertisseur visuel à bon escient puisqu'il freine plus rapidement lors de l'obstacle dans la condition avec avertisseur, comparée à la condition sans avertisseur. L'alerte phasique serait alors préservée chez le patient 4. En revanche, le temps d'alerte n'impacterait pas ses temps de réponse et ne permettrait pas d'observer un temps de réponse optimal.

#### b) Tâche de vigilance

La Figure 47 présente les TR moyens et l'écart-type existant entre les 12 temps de réponse pour chaque session, chez le patient 4.



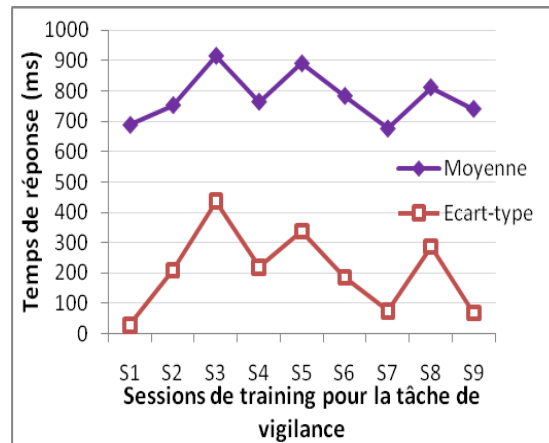


Figure 47. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patient 4)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,105)=1.33$  ;  $p=.237$ ). Autrement dit, le patient 4 n'a pas amélioré sa vitesse de traitement au cours du programme d'entraînement. De plus, on observe une fluctuation de l'écart-type d'une session de training à l'autre. Il semblerait donc que le patient n'améliore pas non plus la variabilité de ses temps de réponse.

c) *Tâche d'attention sélective*

Les analyses n'ont montré aucune différence significative entre les séances à la tâche d'attention sélective ( $Q'(8)=6.27$  ;  $p=.620$ ). Cependant, dès le début du programme d'entraînement, le nombre d'erreurs commises par le patient 4 est faible (Figure 48).

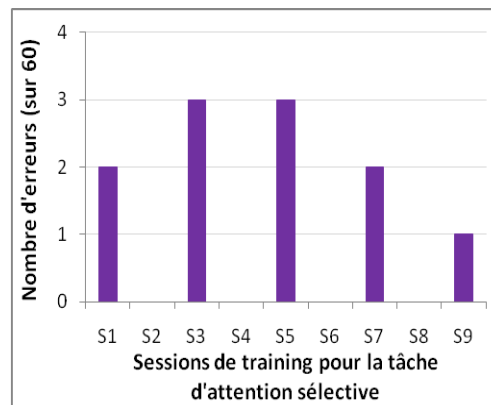


Figure 48. *Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective* (Patient 4)

L'évolution du nombre d'erreurs est fluctuante : une session sur deux le patient ne commet aucune erreur, laissant suggérer un « effet plancher ».

d) *Tâche d'attention divisée*

Le **nombre de franchissements de ligne** total était seulement de 26 pour le patient 4. Le test Q' a révélé un effet principal du côté du franchissement ( $Q'(1)=12.33$  ;  $p<.001$ ). Le patient a franchi plus de lignes à droite ( $24 \pm 1$ ) que de lignes à gauche ( $2 \pm 0.67$ ), toutes conditions confondues (type de tâche et session) (Figure 49).

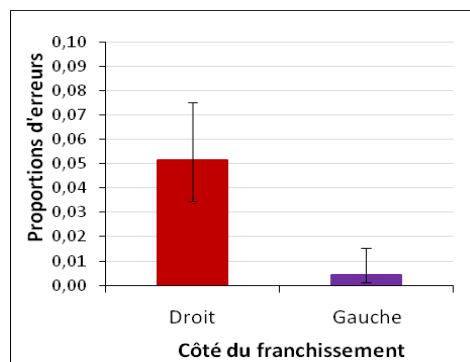


Figure 49. Effet principal du côté du franchissement de ligne (Patient 4)

En revanche, l'effet principal de la session ne s'est pas avéré significatif. Le nombre d'erreurs étant déjà faible lors de la première session (4 erreurs), le patient 4 ne s'est pas amélioré au cours des autres sessions de training. De plus, il n'y avait pas d'effet principal du type de tâche. Le patient a franchi autant de lignes en situation de simple tâche ( $13 \pm 0.88$ ) qu'en situation de double tâche ( $13 \pm 0.88$ ). Enfin, aucune interaction n'a été mise en évidence. Par conséquent, il semblerait que l'ajout d'une tâche complémentaire n'ait pas perturbé les performances de ce patient à la tâche de conduite.

La Figure 50 illustre la **déviati on standard de la position du véhicule** en fonction du type de tâche (simple ou double).

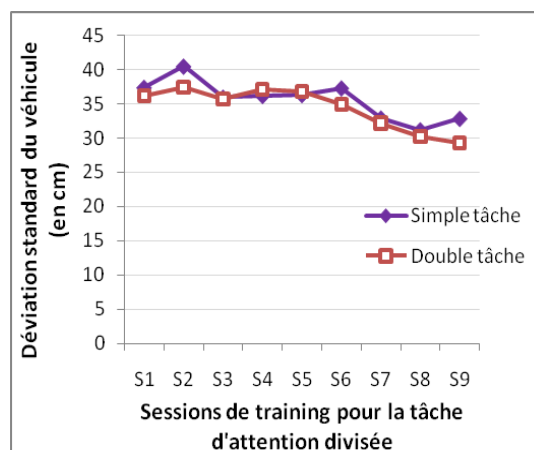


Figure 50. Évolution de la déviati on standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 4)

A la lumière des différents résultats, là encore simplement descriptifs, le type de tâche ne semble pas avoir d'effet sur la déviati on moyenne du véhicule. En effet, la déviati on de la voiture toute session confondue en situation de double tâche ( $34.42 \pm 3.08$  cm) ne diffère guère de la déviati on en situation de simple tâche ( $35.62 \pm 2.85$  cm). Cependant, on observe une légère diminution de la déviati on du véhicule à partir de la sixième session ( $S6=36.10$  cm) jusqu'à la dernière ( $S9=31.05$  cm), toutes conditions confondues. Que ce soit en double tâche ou en simple tâche le profil semble similaire, à savoir une certaine stabilité du véhicule avec une légère amélioration lors des trois dernières séances de training.

Concernant la **vitesse kilométrique**, l'ANOVA a révélé un effet du type de tâche ( $F(1,17)=36.74$  ;  $p<.001$ ). Le patient 4 roulait plus vite en situation de double tâche ( $87.35 \pm 5.62$  km/h) qu'en situation de simple tâche ( $84.04 \pm 2.7$  km/h). La différence entre les deux conditions est faible mais perpétuelle au fil des sessions (dans huit sessions sur neuf), ce qui la rend statistiquement significative. Le test a ensuite mis en évidence un effet principal de la

session ( $F(8,17)=18.14$  ;  $p<.001$ ), qui s'expliquerait par le fait que la vitesse kilométrique du patient en première session était plus élevée que durant toutes les autres sessions de training. Ainsi, cet effet ne révèle pas une progression de l'allure kilométrique au cours du programme, mais plutôt une meilleure prise en main du véhicule à partir de la deuxième session.

Enfin, les résultats ont mis en évidence une interaction entre la session et le type de tâche ( $F(8,17)=4.9$  ;  $p<.001$ ). L'effet principal de la session (diminution de la vitesse entre S1 et les autres sessions) serait plus marqué en situation de double tâche (Figure 51). Autrement dit, l'adaptation du patient au simulateur (appréciation de la vitesse sur simulateur de conduite) semble plus difficile en situation de double tâche.

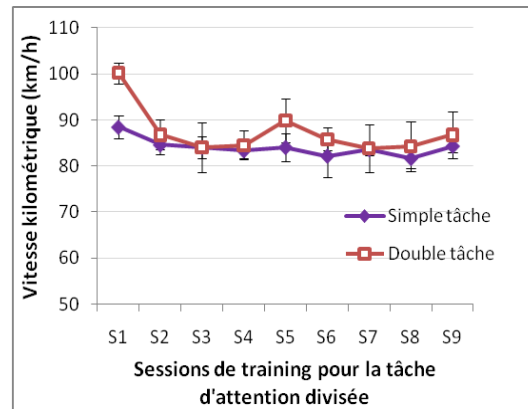


Figure 51. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 4)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale dans un autre graphique, de manière à pouvoir observer les variations kilométriques au sein d'une session de training (Figure 52).

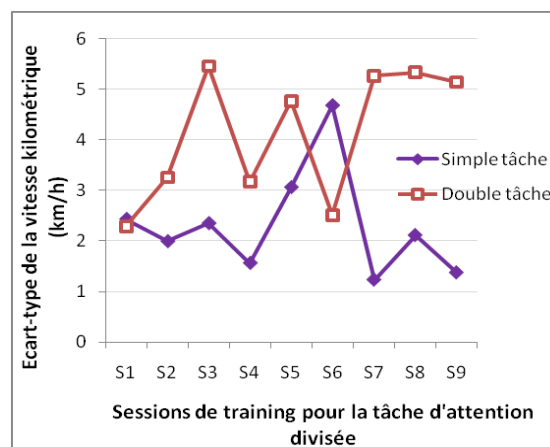


Figure 52. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 4)

On s'aperçoit que le profil diffère selon la condition expérimentale. En effet, l'écart-type de la vitesse kilométrique est plus élevé en situation de double tâche (ET moyen=4.13) qu'en situation de simple tâche (ET moyen=2.31), toutes sessions confondues ; et ceci se retrouve dans sept sessions sur neuf. En résumé, la double tâche semble avoir un coût sur la variabilité de la vitesse kilométrique.

## e) Synthèse des résultats du patient 4

L'**alerte phasique** semble **préservée** chez ce patient étant donné qu'il réagit plus rapidement lors de la condition avec avertisseur comparée à la condition sans avertisseur. On observe une légère amélioration qui devient significative en dernière session, toutes conditions confondues, présageant une petite amélioration de la vitesse de traitement de l'information.

Concernant la tâche de **vigilance**, il n'y a **pas d'amélioration** de la vitesse de traitement de l'information (mesurée par les temps de réponse), ni de la capacité à maintenir sa vigilance (mesurée par l'écart-type). Les performances du patient fluctuent constamment dans ces deux mesures.

Cette **fluctuation** se retrouve aussi dans la tâche **d'attention sélective** où le patient passe de trois erreurs à aucune erreur, une session sur deux. Autrement dit, il s'améliore mais cela ne tient pas dans le temps. Ceci dit, le nombre d'erreurs est faible puisqu'il ne dépasse jamais le chiffre de trois.

La double tâche a eu un impact limité à quelques mesures chez le patient 4. En effet, le nombre de franchissements de ligne et la déviation standard du véhicule ne différaient pas de la simple tâche à la double tâche. En revanche, il roulait plus vite lorsqu'il effectuait les deux tâches simultanément et la variabilité de la vitesse (écart-type) était également plus haute qu'en simple tâche. On observe une diminution de la déviation du véhicule dans les deux conditions expérimentales. Cette amélioration est attribuable à une meilleure maîtrise de la conduite sur simulateur et non à une amélioration des capacités d'attention divisée. Enfin, il a diminué la variabilité de sa vitesse, mais seulement en simple tâche. Ceci suggère que l'impact de la double tâche était toujours aussi important lors des dernières sessions de training ne permettant pas d'obtenir cette même amélioration. L'**attention divisée** n'a donc montré **aucune amélioration** sur les mesures impactées.

## 1.5 Patient 5

Le patient 5 est un homme de 39 ans, victime d'un accident de poids lourd survenu en novembre 2009. Il a subi un traumatisme crânien grave (GCS=non spécifié) et a effectué l'évaluation pré-training 6 mois après son traumatisme.

## a) Tâche d'alerte phasique

Les temps de réponse moyens obtenus à la tâche d'alerte phasique sont illustrés dans la Figure 53 en fonction de la condition (avec ou sans avertisseur visuel).

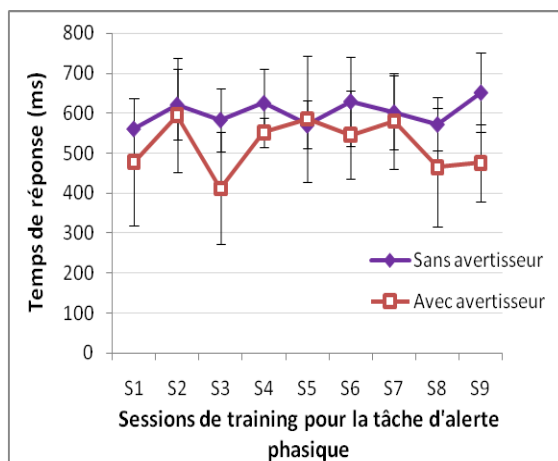


Figure 53. Évolution du temps de réponse moyen selon la condition expérimentale (Patient 5)

Les résultats ont exhibé un effet principal de la condition expérimentale ( $F(1,17)=57.98$  ;  $p<.001$ ). Les temps de réponse sont plus rapides dans la condition avec stimulus avertisseur ( $527.6 \pm 137.96$  ms) comparée à la condition sans avertisseur visuel ( $602.25 \pm 88.99$  ms) toutes sessions confondues. En revanche il n'y a pas d'effet de la variable session sur les temps de réponse ni d'interaction entre ces deux facteurs. Ceci laisse supposer qu'il n'y a pas d'amélioration des performances durant l'intégralité du training et que le pattern d'évolution des temps de réponse est relativement similaire lors de la condition avec ou sans avertisseur. En définitive, le patient 5 n'améliore pas sa capacité d'alerte puisqu'il se sert du stimulus avertisseur dès S1, supposant une préservation de l'alerte.

De plus, l'ANOVA n'a montré aucun effet du facteur temps d'alerte sur les temps de réponse à la tâche d'alerte phasique ( $F(4,44)=0.849$  ;  $p=.503$ ). Ainsi, le changement du temps d'alerte (court ou long) n'a pas eu d'influence sur les performances du patient 5.

Ce patient semble donc utiliser l'avertisseur visuel comme indice puisqu'il répond plus rapidement dans la condition avec avertisseur comparé à la condition sans avertisseur et ceci dans huit sessions sur neuf. L'alerte phasique serait alors préservée chez le patient 5. En revanche, un temps d'alerte variable ne permet pas d'aboutir à un temps de réponse optimal.

#### b) Tâche de vigilance

La Figure 54 présente les TR moyens et l'écart-type à la tâche de vigilance pour les neuf sessions de training.

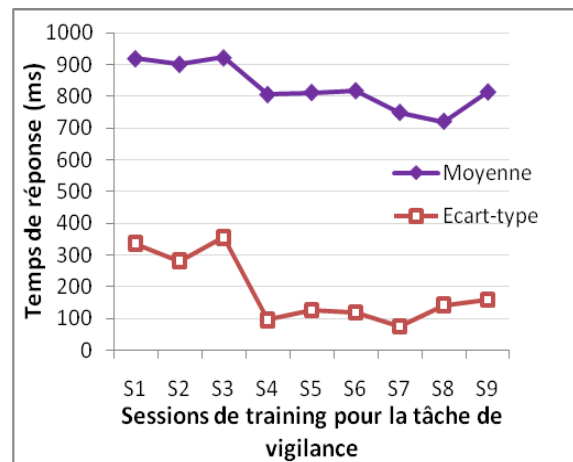


Figure 54. Effet principal de la session de training sur les temps de réponse *et évolution de l'écart-type* à la tâche de vigilance (Patient 5)

Les résultats n'ont montré aucun effet de la session sur les temps de réponse du patient ( $F(8,103)=1.362$  ;  $p=.223$ ). Le patient 5 n'a pas amélioré ses TR au cours du programme d'entraînement. Cependant, lorsqu'on observe la Figure 54, on s'aperçoit que l'écart-type chute de la troisième à la quatrième séance ( $S3=355.78$  ;  $S4=95.82$ ) pour ensuite rester constant jusqu'à la dernière session de training. Ainsi, il semblerait que le patient 5 n'améliore pas significativement sa vitesse de traitement de l'information, mais améliore par contre la variabilité intra-session de ses temps de réponse.

c) *Tâche d'attention sélective*

Le test  $Q' 2 \times k$  n'a montré aucune différence significative entre les séances ( $Q'(8)=7.41$  ;  $p=.490$ ) à la tâche d'attention sélective. Au regard de la Figure 55, on peut cependant noter une diminution du nombre d'erreurs entre S1 (N=9) et S2 (N=2), attribuable à l'effet de nouveauté représenté par la tâche. Le profil général fluctue au cours du training.

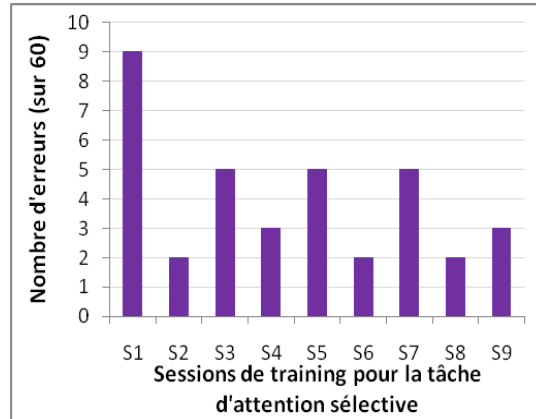


Figure 55. Nombre total d'erreurs pour chaque session de training à la tâche d'attention sélective (Patient 5)

d) *Tâche d'attention divisée*

Le test du  $Q' 2 \times 2 \times k$  n'a révélé aucune différence significative concernant le **nombre de franchissements de ligne** (N=36). Autrement dit, l'ajout d'une tâche secondaire à la tâche de conduite n'a pas eu d'impact sur les performances du patient à cette mesure spécifique. De plus, on ne note pas d'amélioration au gré des séances. Cependant, le nombre de franchissements de ligne est déjà faible au commencement du programme de training.

La deuxième mesure concerne la **déviatoin standard de la position du véhicule**, illustrée par la Figure 56 en fonction du type de tâche (simple ou double).

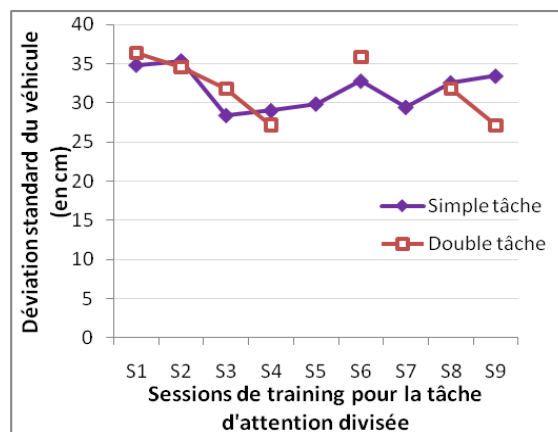


Figure 56. Évolution de la déviatoin standard moyenne selon la condition expérimentale (Patient 5)

Certaines données étaient manquantes pour le patient 5 (fichier illisible pour S5 et S7 en double tâche), ne permettant pas de décrire l'évolution de la déviatoin standard avec précision. Ainsi, nous nous contenterons de statuer sur le fait que l'ajout d'une tâche additionnelle ne semble pas impacter la déviatoin du véhicule chez ce patient (au vu du profil général). De plus, le profil d'évolution au gré des séances semble similaire en situation de

simple et double tâche, à savoir une certaine stabilité de la déviation du véhicule au cours du programme de training.

Enfin, concernant la **vitesse kilométrique**, l'ANOVA a mis en avant un effet principal de la session ( $F(8,15)=3.51$  ;  $p<.002$ ). Cet effet ne concerne pas une diminution progressive de la vitesse au fur et à mesure des séances mais une diminution brutale en S2 qui se stabilise ensuite jusqu'à la dernière session. En effet, le patient roulait bien plus rapidement en première session ( $S1=99.85 \pm 6.99$  km/h) comparée à toutes les autres sessions de training (comme par exemple  $S2=90.21 \pm 7.66$  km/h).

En revanche, il n'y a pas eu d'effet principal du type de tâche. L'allure kilométrique adoptée par le patient était similaire en simple ( $92.89 \pm 5.34$  km/h) et double tâche ( $89.54 \pm 5.11$  km/h), toutes sessions confondues.

Enfin, l'analyse a mis en évidence une interaction entre les facteurs session et type de tâche ( $F(6,80)=2.73$  ;  $p<.020$ ). Le patient roulait à une allure semblable en simple et double tâche, cependant, la diminution de la vitesse kilométrique entre S1 et S2 ne s'exprime qu'en situation de double tâche ( $F(6, 34)=5.16$  ;  $p<.001$ ). Ces résultats laissent supposer que l'ajout d'une tâche secondaire à la tâche de conduite a eu un impact limité sur la vitesse kilométrique à la première session. Le patient a ensuite su réguler sa vitesse en double tâche (Figure 57).

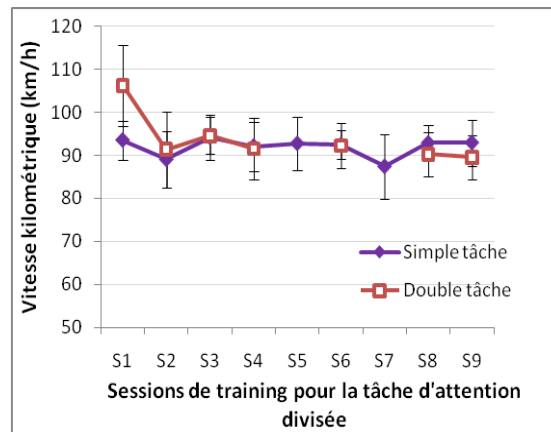


Figure 57. Évolution de la vitesse kilométrique moyenne selon la condition expérimentale (Patient 5)

Nous avons ensuite isolé l'écart-type de la vitesse kilométrique pour chaque condition expérimentale afin d'observer les variations kilométriques au sein des différentes sessions de training (Figure 58).

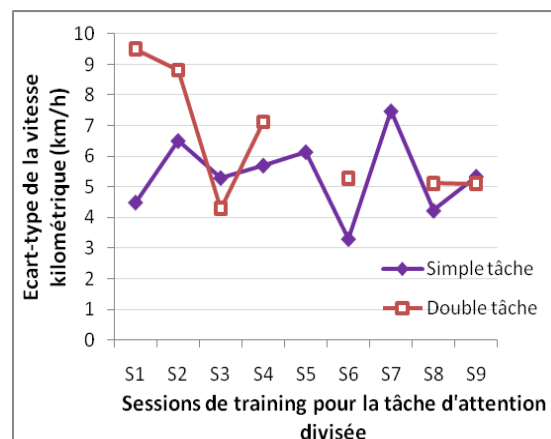


Figure 58. Évolution de l'écart-type de la vitesse kilométrique selon la condition expérimentale (Patient 5)

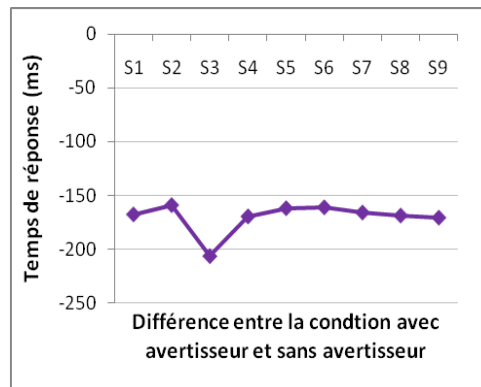


Figure 59. Évolution de l'alerte phasique pour le groupe simulateur

De plus, les analyses individuelles ont permis de mettre en évidence une diminution des temps de réponse pour le patient 4 qui diminue ses temps de réponse dans les deux conditions expérimentales, suggérant plutôt une amélioration de la vitesse de traitement de l'information.

**Vigilance :** La vigilance semble s'améliorer pour trois patients sur cinq étant donné que la variabilité de leur temps de réponse a diminué d'une session à une autre. Un patient ne s'est pas amélioré mais avait déjà une faible variabilité dès S1. L'autre patient (Patient 4) n'a quant à lui pas progressé.

**Attention sélective :** Les performances en termes d'erreurs dans la tâche d'attention sélective ne s'améliorent pas au cours du programme d'entraînement. Pour certains, le nombre d'erreurs fluctue d'une session à l'autre, pour d'autres le nombre d'erreurs est restreint dès le début de l'entraînement, ne permettant pas d'observer d'amélioration. Les autres patients seraient confrontés à un manque de complexité de la tâche (bon niveau dès S1), ne permettant pas d'observer de progression (effet plancher). L'analyse de groupe réalisée au préalable (cf. annexe 21) avait révélé un effet principal de la session, montrant une fluctuation générale du groupe de patients. Or, les analyses individuelles ont montré que cette fluctuation des performances s'observe seulement pour deux patients sur cinq. L'analyse de groupe ne rendrait donc pas compte des différences de profil entre les patients.

**Attention divisée :** Enfin, on note une amélioration de l'attention divisée pour pratiquement tous les patients traumatisés crâniens, s'objectivant par une diminution de la déviation standard du véhicule en double tâche, une diminution du nombre d'erreurs en double tâche (franchissements de lignes), ou encore par une diminution de la vitesse kilométrique en double tâche ou de la variabilité de la vitesse (écart-type). Cependant, deux patients ont amélioré leur performance générale à la tâche d'attention divisée, dans les deux conditions expérimentales. En effet, Le patient 2 s'est amélioré dans trois mesures de la tâche aussi bien en simple qu'en double tâche et le patient 4 a diminué la déviation de son véhicule d'une session à une autre en simple et double tâche. On peut alors supposer que ces deux patients n'ont pas forcément amélioré leur capacité à divisée leur attention, mais sont devenus plus performants à cette tâche spécifique de contrôle de la position du véhicule.

## 2. Training sur ordinateur

Les résultats qui traitent du training attentionnel réalisé sur ordinateur sont à considérer avec précaution étant donné qu'aucune analyse statistique ne les sous-tend. Cependant, ils apportent une valeur descriptive de l'évolution des performances au cours du programme d'entraînement.



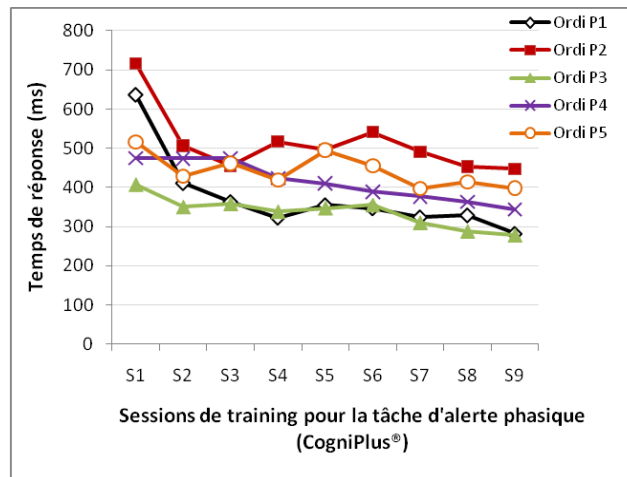


Figure 60. Temps de réponse à la tâche d'alerte phasique du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

On remarque un pattern assez similaire pour tous les patients, à savoir une diminution des temps de réponse de la première à la deuxième session (S1=550 ± 124.68 ms ; S2=434 ± 59.99 ms). Les temps de réponse se stabilisent ensuite jusqu'à la cinquième session, puis on observe une légère diminution jusqu'à la dernière séance de training chez tous les patients (S5=420 ± 72.55 ms ; S9=349.8 ± 73.41 ms). La chute des temps de réponse entre la première et la deuxième session peut s'expliquer par l'effet de nouveauté que la tâche représente. Les patients se sont habitués à cette tâche spécifique et obtiennent alors des temps de réponse plus rapides (à l'exception du patient 4). Cependant ces temps de réponse ne peuvent être considérés indépendamment du niveau de difficulté atteint au cours d'une session (Figure 61). En effet, l'augmentation du niveau de difficulté de la tâche peut provoquer une augmentation des temps de réponse et peut ainsi masquer une éventuelle amélioration du participant. Dans la tâche d'alerte phasique, le niveau de difficulté résidait dans la pression temporelle exercée lors de la conduite de la moto : plus le niveau de difficulté était important, plus la moto roulait rapidement.

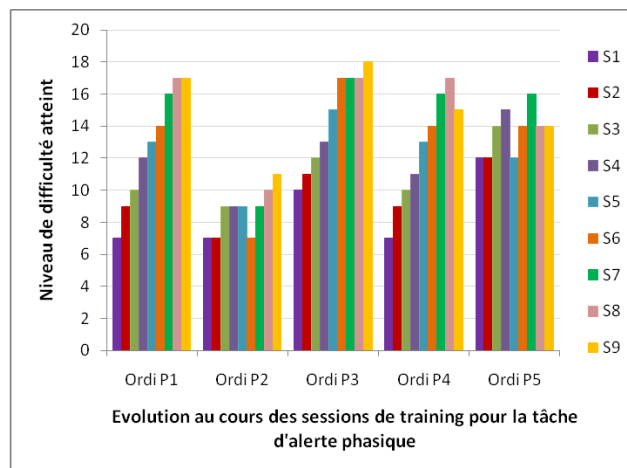


Figure 61. Evolution du niveau de difficulté à la tâche d'alerte phasique durant les neuf sessions de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

L'histogramme nous permet d'observer l'évolution de chaque participant au cours du programme d'entraînement. Bien que les patients traumatisés crâniens améliorent leur niveau de difficulté à la tâche d'alerte phasique de manière générale, nous avons identifiés des patterns d'évolution distincts. Les patients 1, 3 et 4 ont montré une amélioration progressive

et importante qui s'opère durant toute la durée du programme d'entraînement. Les patients 1 et 4 ont gagné dix niveaux entre le début et la fin du training, tandis que le patient 3 en a gagné huit. Parmi ces trois patients, seul le patient 4 a régressé de deux niveaux lors de la dernière session de training.

Le deuxième pattern que nous avons identifié concerne les patients 2 et 5 qui montrent une amélioration moins importante que les patients précédents. En effet, ces deux patients n'ont gagné que quatre niveaux durant tout le programme et montrent plusieurs régressions. Ainsi, on observe une certaine fluctuation des performances d'une session à une autre mais sans jamais revenir au niveau de départ (excepté pour une session : S6 pour le patient 2 et S5 pour le patient 5). Cependant, la faible amélioration entre S1 et S9 peut s'expliquer pour le patient 5 par le fait que son niveau de départ est déjà élevé (S1=niveau 12). De ce fait, la marge de progression était plus restreinte (« effet plafond »). Autrement dit, le patient a atteint dès la première session de training, un seuil à partir duquel il est difficile de s'améliorer davantage.

### 2.3 Tâche de vigilance

La vigilance se mesure par la capacité à maintenir son attention pendant de longues périodes. La mesure qui paraît la plus adéquate dans ce type de tâche est l'écart-type qui permet de mesurer la variabilité des temps de réponse au cours d'une session de training. Ne disposant pas de cette mesure via le logiciel, nous présenterons seulement les temps de réponse moyens des cinq patients traumatisés crâniens en fonction des séances de training (Figure 62). Cette tâche ne comportait qu'un seul niveau de difficulté, ainsi, les temps de réponse représentent l'unique mesure pour la vigilance.

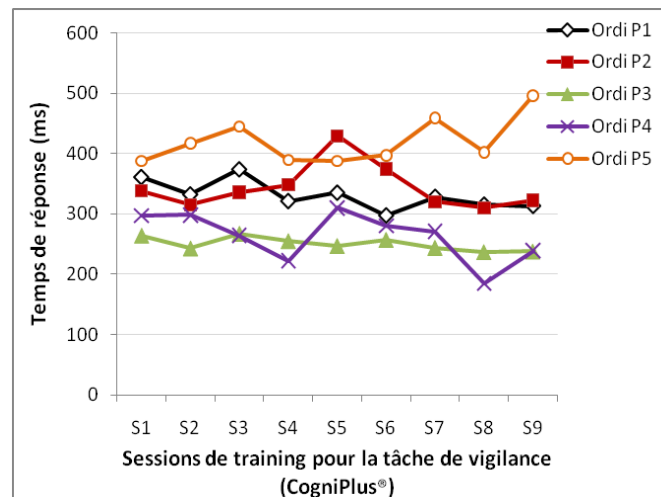


Figure 62. Temps de réponse à la tâche de vigilance du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

Les temps de réponse des cinq patients traumatisés crâniens ne semblent pas s'améliorer au cours du programme de training. En effet, on observe de manière générale une certaine stabilité entre les temps de réponse obtenus lors de la première session comparé aux temps de réponse de la dernière session (S1=329.6 ± 49.58 ms ; S9=321.6 ± 105.24 ms). On note cependant quelques profils qui diffèrent des autres. Dans un premier temps, on observe une certaine fluctuation des temps de réponse avec une augmentation lors de la cinquième session pour les patients 2 et 4. Il semblerait que la monotonie de la tâche de vigilance ait entraînée une diminution de la vitesse de traitement lors des séances intermédiaires du

programme (soit une augmentation des TR). Dans un second temps, on note une augmentation progressive des temps de réponse pour le patient 5. Cependant, on ne conclut pas à une dégradation des performances étant donné que l'écart est faible entre la première et la dernière session (108 ms). Les caractéristiques psychologiques du patient 5 peuvent avoir influencé et expliquer en partie cette augmentation des temps de réponse. Effectivement, ce patient a été inclus dans l'étude seulement deux mois après son accident. De fait, il était encore « sous le choc » et n'était pas stable psychologiquement d'après les médecins. De plus, il manquait totalement de motivation pour réaliser les exercices contrairement aux autres patients qui les trouvaient plutôt ludiques. Ce désintérêt pour la tâche était croissant d'une séance à l'autre, pouvant ainsi être à l'origine du ralentissement observé de la vitesse de traitement de l'information.

## 2.4 Tâche d'attention sélective

L'attention sélective permet de sélectionner l'information pertinente pour la tâche en cours parmi l'ensemble des informations qui sont présentes dans l'environnement. La tâche consistait à appuyer sur un bouton-réponse lorsque le stimulus cible (un personnage) était présenté à l'écran de l'ordinateur. D'autres personnages distincts de la cible représentaient les distracteurs. La Figure 63 illustre le temps de réponse des cinq participants à la tâche d'attention sélective pour les identifications de cibles correctes.

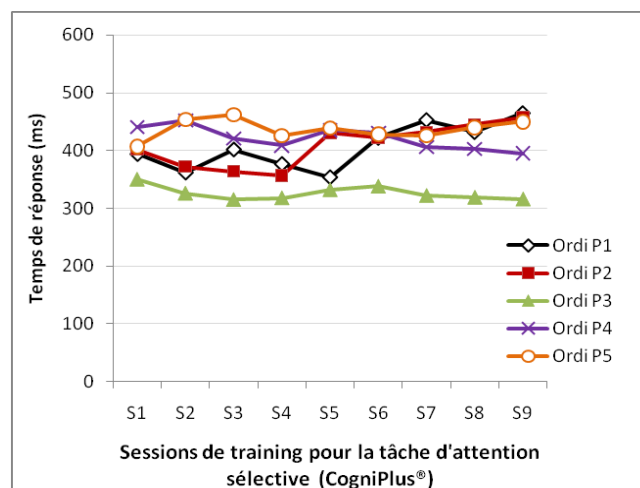


Figure 63. Temps de réponse à la tâche d'attention sélective du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

Les résultats des patients traumatisés crâniens peuvent être classés en deux catégories : soit ont observé une stagnation des TR durant l'intégralité du programme de training, soit une légère augmentation des TR. Les patients 3, 4 et 5 obtiennent des résultats qui réfèrent à la première catégorie. En effet, aucune amélioration n'a été observée chez ces patients durant les neuf séances de training (moyenne des 3 patients : S1=399.33 ms ; S3=399.33 ms ; S6=399 ms ; S9=387 ms).

Les patients 1 et 2 obtiennent des résultats de la deuxième catégorie. Ainsi, leurs temps de réponse augmentaient à partir de la cinquième session pour le patient 1 et de la quatrième session pour le patient 2, jusqu'à la fin du programme de training (Patient 1 : S5=354 ms, S9=465 ms ; Patient 2 : S4=357 ms, S9=457 ms). L'interprétation des résultats doit se faire en lien avec l'analyse de l'évolution du niveau de difficulté. Lorsque le niveau de difficulté augmentait, les stimuli étaient plus nombreux, pouvant alors influencer la vitesse de traitement de l'information. De plus, le passage d'un niveau de difficulté à un autre était

conditionné par les temps de réponse et également par le nombre d'erreurs commises par les patients. Ainsi, lorsqu'un patient augmentait de niveau cela signifiait qu'il avait diminué le nombre d'erreur à la tâche. La Figure 64 illustre l'évolution de cette mesure pour les cinq patients traumatisés crâniens.

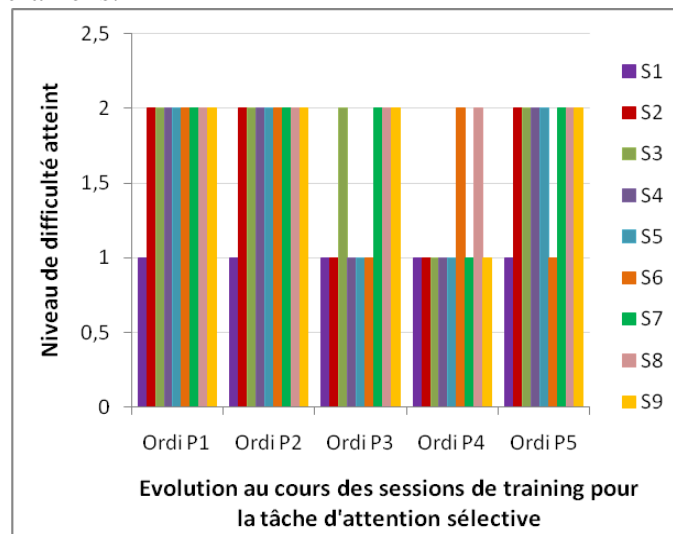


Figure 64. Evolution du niveau de difficulté à la tâche d'attention sélective durant les neuf sessions de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

On remarque d'ores et déjà que le niveau de difficulté atteint ne dépassait jamais le niveau deux, toutes sessions et patients confondus. Les patients qui ont fait le moins d'erreurs durant l'intégralité du training (qui ont le plus souvent atteint le niveau 2) sont les patients 1 et 2. Les résultats concernant le niveau de difficulté permettent d'interpréter les résultats quant aux TR. En effet, l'augmentation du temps de réponse observée chez ces deux patients, serait due au fait qu'ils ont effectué pratiquement toutes les sessions de training en niveau 2, soit avec un grand nombre de stimulations. De ce fait, ces patients étaient confrontés à de multiples distracteurs, mobilisant des ressources attentionnelles et par conséquent pouvant diminuer leur vitesse de traitement de l'information pertinente. Enfin, le patient Ordip5 a un pattern d'évolution semblable aux premiers patients décrits, à la différence qu'il a régressé lors de la sixième session.

Deux autres patients (patients 3 et 4) n'ont pas montré d'amélioration des temps de réponse durant l'intégralité du training, ni d'amélioration du niveau de difficulté durant la première partie du training. Ceci laisse supposer que le nombre d'erreur effectué était trop élevé pour permettre le passage au niveau supérieur. Cependant, ils se sont améliorés à partir de la cinquième session pour le patient 4 et à partir de la septième session pour le patient 3, sans engendrer d'augmentation au niveau des temps de réponse.

## 2.5 Tâche d'attention divisée

L'attention divisée est la capacité à effectuer deux tâches simultanément. Dans cette tâche informatisée le patient devait réaliser deux tâches simultanément (tâche visuelle et auditive). Plus le niveau de difficulté augmentait, plus le patient devait effectuer de tâches simultanément. Une deuxième tâche visuelle était ajoutée aux tâches précédentes du niveau 3 au 6, une troisième tâche visuelle du niveau 6 au 9 et enfin à partir du niveau 10 une deuxième tâche auditive se combinait à toutes les autres. La Figure 65 illustre en parallèle, l'évolution des temps de réponse et l'évolution du niveau de difficulté des cinq patients traumatisés crâniens durant la tâche d'attention divisée.

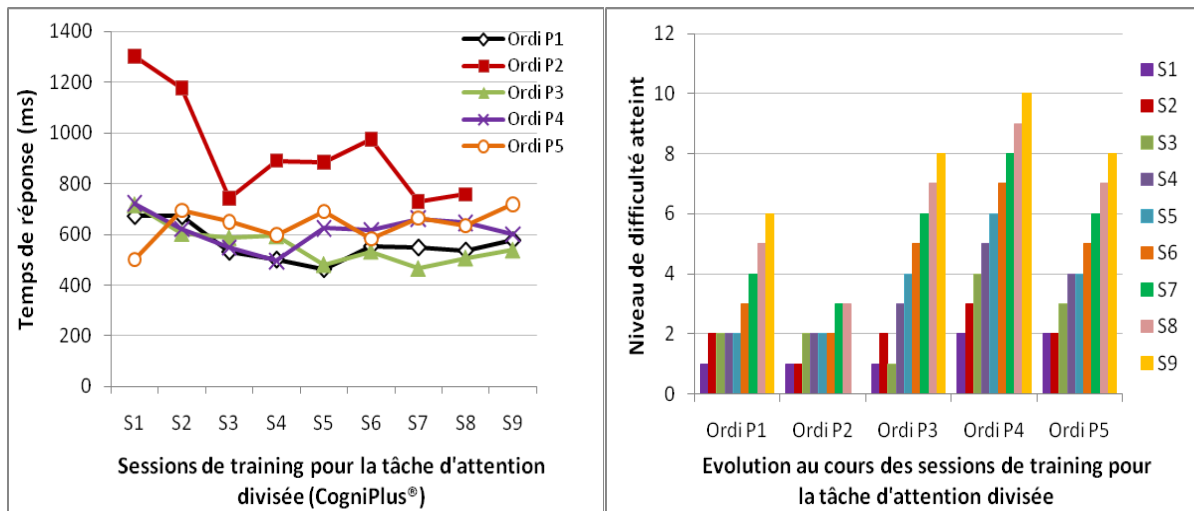


Figure 65. Evolution du temps de réponse et du niveau de difficulté à la tâche d'attention divisée du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training pour les cinq patients traumatisés crâniens

On aurait pu s'attendre à une augmentation des temps de réponse au fur et à mesure de la progression du niveau de difficulté, requérant de plus en plus de ressources attentionnelles. Or, quatre patients sur cinq obtiennent des temps de réponse relativement constants d'une session à une autre. De plus, un patient diminue ses temps de réponse au cours du programme d'entraînement. Le patient 2 est le seul à avoir un profil qui diffère des autres et ceci dans les deux mesures recueillies. En effet, il est le seul à avoir amélioré ses temps de réponse durant le training (S1=1302 ms ; S3=742 ms ; S5=884 ms ; S7=730 ms). De plus, cette diminution des temps de réponse est corrélée au profil du niveau de difficulté qui a plutôt tendance à stagner comparativement aux autres. Le patient 2 réagit plus rapidement parce qu'il reste au même niveau de difficulté au cours des différentes sessions.

Les quatre autres patients ont pratiquement augmenté d'un niveau à chaque session. La plus belle progression s'observe chez le patient 4 qui a échelonné 8 niveaux durant le programme de training. L'amélioration du niveau de difficulté de ces quatre patients entraînerait par lien de cause à effet une stagnation des temps de réponse. En effet, la tâche devenant de plus en plus coûteuse d'un point de vue attentionnel, l'amélioration n'a pu s'effectuer en termes de vitesse de traitement. En revanche, il est possible d'observer une diminution des temps de réponse lorsque le patient n'augmente pas ou très peu de niveau de difficulté (c'est le cas du patient 2).

Remarque : suite à un empêchement de dernière minute le patient 2 n'a pu terminer la dernière session de training, de ce fait l'exercice d'attention divisée n'a pas été réalisé et n'a pu être rattrapé.

## 2.6 Synthèse des résultats du groupe ordinateur

La Figure 66 permet de synthétiser les temps de réponse moyens et les niveaux de difficulté moyens des cinq patients traumatisés crâniens pour chacune des tâches attentionnelles au cours des neuf sessions de training.

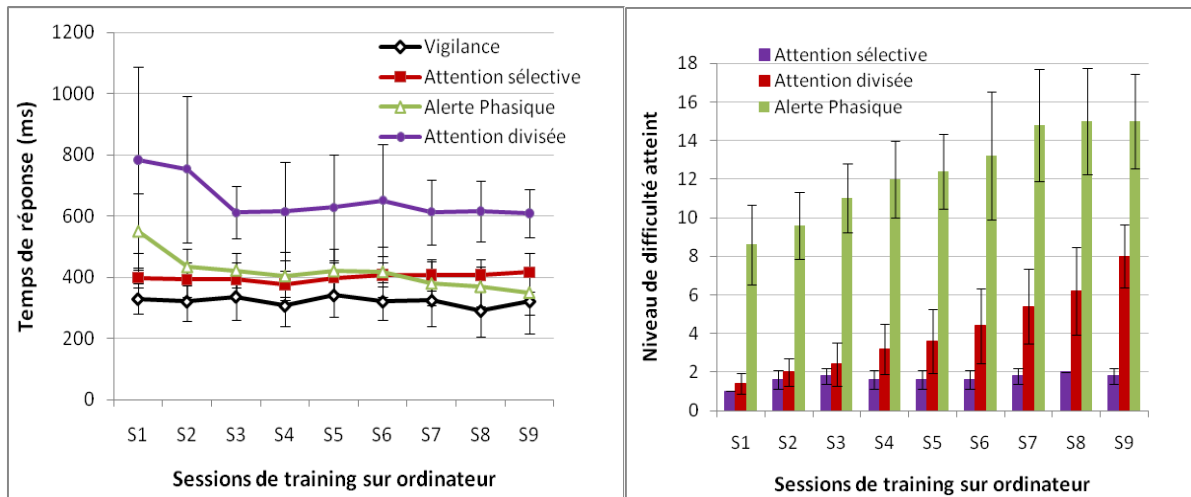


Figure 66. Temps de réponse et niveaux de difficulté atteints aux quatre tests attentionnels du logiciel CogniPlus® durant les neuf séances de training

De manière générale, les patients n'ont pas diminué leur vitesse de traitement de l'information, excepté lors de la tâche d'attention divisée. Cependant, cette diminution des temps de réponse s'explique par un patient qui à défaut d'augmenter de niveau de difficulté à diminuer ses temps de réponse. Concernant la progression du niveau de difficulté, elle s'observe dans les trois tâches attentionnelles avec des intensités différentes. Il semblerait qu'il y ait un « effet plafond » pour la tâche d'attention sélective où les cinq patients n'ont jamais dépassé le niveau deux.

## ANNEXE 21 : RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE GROUPE DES PATIENTS TRAUMATISÉS CRÂNIENS LORS DU TRAINING SUR SIMULATEUR

### Alerte phasique

La Figure 1 illustre les temps de réponse obtenu à la tâche d'alerte phasique en condition avec et sans avertisseur et l'index d'alerte phasique qui en a résulté, pour le groupe de patients entraînés sur simulateur de conduite (N=5).

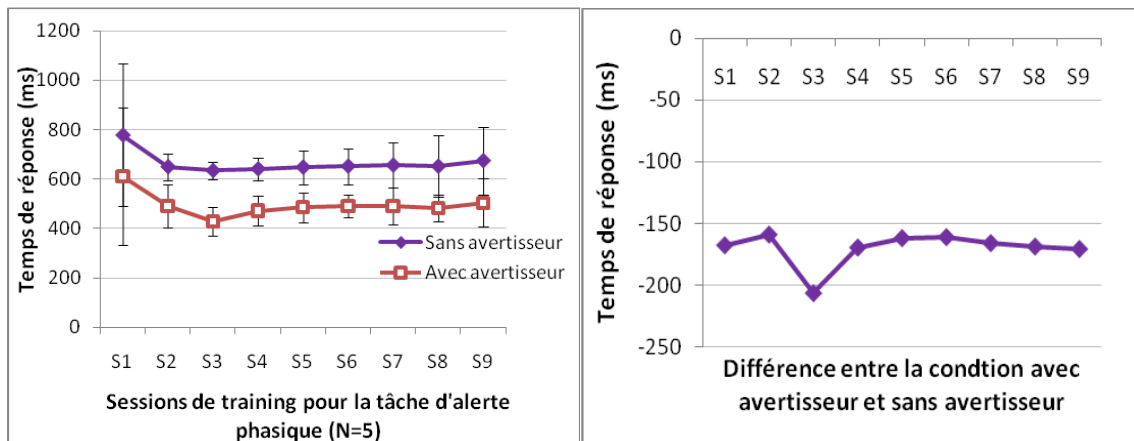


Figure 1. Evolution du temps de réponse et de l'index d'alerte pour le groupe de patients (N=5)

L'index d'alerte a été calculé en soustrayant les TR de la condition sans avertisseur au TR de la condition avec avertisseur. Ainsi, un score négatif indique que les patients ont répondu plus rapidement lors de la condition avec stimulus avertisseur.

L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé de différence significative au cours des 9 sessions de training pour l'index d'alerte ( $F(8,44)=0.12$ ;  $p<.998$ ). Le bénéfice du signal avertisseur sur les TR est donc constant d'une session à l'autre pour le groupe simulateur. De ce fait, aucune amélioration n'a été observée au cours du programme d'entraînement.

### Vigilance

La Figure 2 permet d'observer l'évolution des temps de réponse du groupe de patients, ainsi que de l'écart-type moyen des temps de réponse pour la tâche de vigilance.

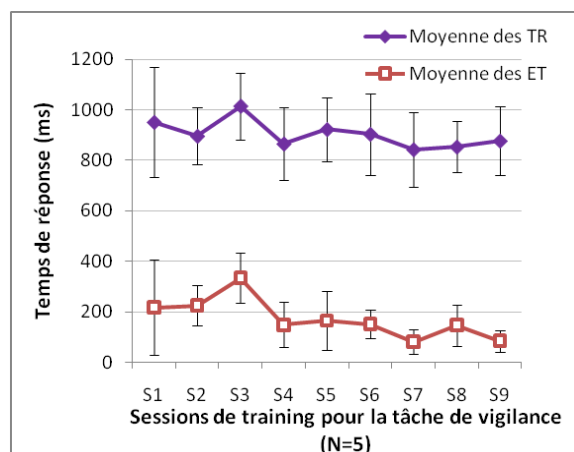


Figure 2. Evolution du temps de réponse et de l'écart-type à la tâche de vigilance pour le groupe simulateur

L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé d'effet principal de la session sur les TR du groupe de patients ( $F(8,44)=0.54$  ;  $p<.0819$ ). En résumé, le groupe n'a pas amélioré sa vitesse de traitement de l'information. L'écart-type inter-sujet concernant les TR n'est pas de grande ampleur, laissant supposer une stabilité de la vitesse de traitement chez tous les patients, de manière individuelle. Ceci reste tout de même à vérifier dans une étude de cas.

En revanche, on note un effet principal de la session sur les écart-types ( $F(8,44)=3.11$  ;  $p<.009$ ). Cependant, cet effet est dû à une variabilité plus importante lors de la session 3 et ne traduit pas de diminution progressive de la variabilité au cours des différentes sessions d'entraînement.

### Attention sélective

La Figure 3 monte le nombre d'erreurs moyen à la tâche d'attention sélective au cours des neuf sessions de training pour le groupe de patients ( $N=5$ ).

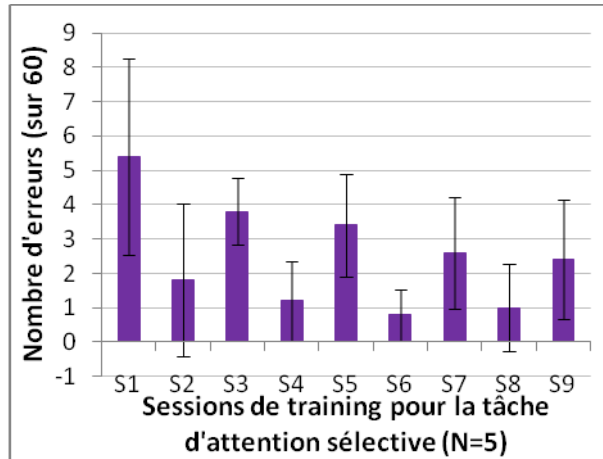


Figure 3. Evolution du nombre d'erreurs à la tâche d'attention sélective pour le groupe ( $N=5$ )

L'analyse de groupe a révélé un effet principal de la session ( $F(8,44)=3.21$  ;  $p<.007$ ). Les tests de comparaison multiples ont montré que cet effet est dû au nombre plus important d'erreurs lors de la première session ( $5.4 \pm 2.87$ ), qui diffère de S4 ( $1.2 \pm 1.17$ ), S6 ( $0.8 \pm 0.75$ ) et S8 ( $1 \pm 1.26$ ).

Les résultats mettent donc en avant une fluctuation générale des performances. Il serait intéressant de vérifier si cette fluctuation est présente chez tous les patients.

### Attention divisée

La Figure 4 illustre le coût de la double tâche sur le nombre de franchissements de ligne (nombre de franchissement en double tâche – nombre de franchissements en simple tâche).

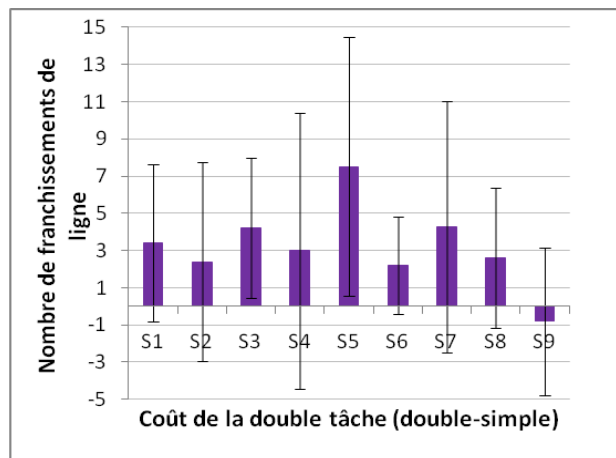


Figure 4. Evolution du coût de la double tâche sur le nombre de franchissements de ligne pour le groupe de patients ( $N=5$ )



L'ANOVA à un facteur n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche concernant le franchissement de ligne ( $F(8,42)=0.83$  ;  $p<.587$ ). Autrement dit, la différence entre la condition de double tâche et la condition de simple tâche ne s'améliore au cours des différentes sessions de training. Cependant, cette variable de mesure n'était pas impactée chez tous les patients du groupe, ce qui explique l'importance de l'écart-type. Une analyse cas par cas semble donc nécessaire pour pouvoir vérifier l'impact de la double tâche sur le franchissement de ligne et ensuite le mettre en lien avec une éventuelle amélioration au cours du *training*.

La Figure 5 illustre le coût de la double tâche sur déviation standard du véhicule (déviation en cm en double tâche – déviation en cm en simple tâche).

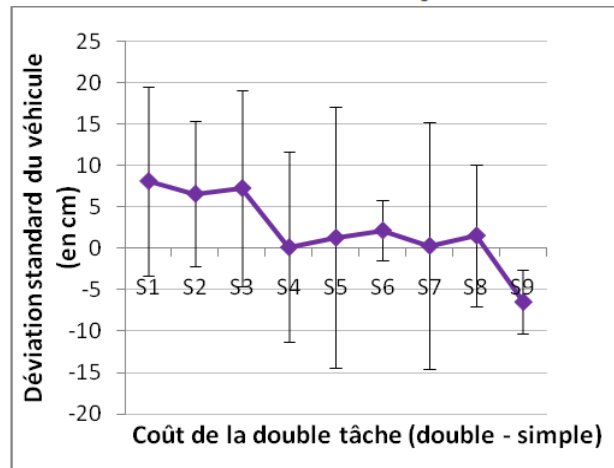


Figure 5. Evolution du coût de la double tâche sur la déviation standard du véhicule pour le groupe de patients (N=5)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche en ce qui concerne la mesure de la déviation standard du véhicule ( $F(8,42)=0.94$  ;  $p<.501$ ). Bien que le coût de la double tâche sur la déviation du véhicule semble diminué au fur et à mesure des sessions (au vu de la Figure 5), la différence n'est pas significative. Il semblerait que la variabilité inter-sujet nuise à l'analyse de groupe. Une analyse individuelle est indispensable pour observer l'impact de la double tâche sur cette mesure et ainsi s'affranchir de la variabilité inter-sujet.

La Figure 6 illustre le coût de la double tâche sur la vitesse kilométrique des patients (vitesse en km/h en double tâche – vitesse en km/h en simple tâche).

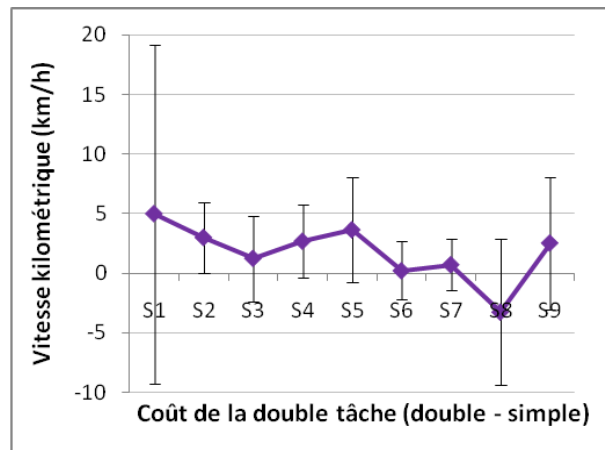


Figure 6. Evolution du coût de la double tâche sur la vitesse kilométrique du groupe de patients (N=5)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche en ce qui concerne la vitesse kilométrique ( $F(8,42)=0.728$  ;  $p<.666$ ). Cependant, l'ajout d'une tâche secondaire n'a pas eu le même impact sur tous les patients. Pour certains, elle a entraîné une augmentation de leur vitesse kilométrique alors que pour d'autres il s'agissait d'une réduction de la vitesse en double tâche. Enfin, certains patients gardait une vitesse plutôt constante quelle que soit la condition expérimentale (simple ou double tâche). Il semble donc pertinent de faire une analyse individuelle pour cette mesure spécifique.

La Figure 7 illustre le coût de la double tâche sur l'écart-type de la vitesse kilométrique des patients (ET de la vitesse en km/h en double tâche – ET de la vitesse en km/h en simple tâche).

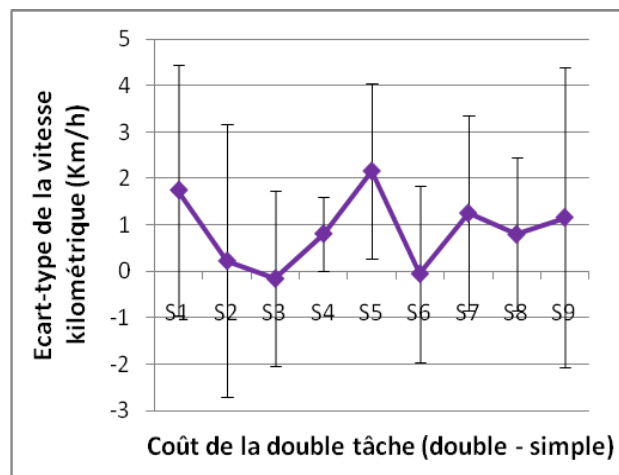


Figure 7. Evolution du coût de la double tâche sur l'écart-type de la vitesse kilométrique du groupe de patients (N=5)

L'ANOVA n'a pas révélé d'effet principal de la session sur le coût de la double tâche en ce qui concerne l'écart-type de la vitesse kilométrique ( $F(8,42)=0.571$  ;  $p<.794$ ). Il semblerait que la variabilité de la vitesse kilométrique fluctue d'une session de training à une autre. Cependant, au vu de l'importance des écart-types inter-sujet, nous sommes en mesure de nous demander si le profil est le même pour les cinq patients et si la double tâche impacte cette mesure pour tous les patients. Seule une analyse individuelle permettra de répondre à cette question.