



HAL
open science

Attention divisée en simulation de conduite automobile. Influence de l'expérience et Impact de l'alcool

Chloé Freydier

► **To cite this version:**

Chloé Freydier. Attention divisée en simulation de conduite automobile. Influence de l'expérience et Impact de l'alcool. Psychologie. Aix-Marseille Université, 2014. Français. NNT : . tel-01027864

HAL Id: tel-01027864

<https://theses.hal.science/tel-01027864>

Submitted on 22 Jul 2014

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.



AIX – MARSEILLE Université

UFR de Psychologie, Département de Psychologie Cognitive

Ecole Doctorale 356 : Langage, Cognition, Education

THÈSE

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université d'Aix-Marseille

Discipline : Psychologie cognitive

par

Chloé Freydier

le 07 juillet 2014

Attention divisée en simulation de conduite automobile

Influence de l'expérience et Impact de l'alcool

Directrices de thèse

Mireille Bastien-Toniazzo, Professeur d'Université (AMU)

Catherine Berthelon, Directrice de Recherche (IFSTTAR – LMA)

Jury

Mireille BASTIEN-TONIAZZO – Professeur des universités, Aix-Marseille Université

Catherine BERTHELON – Directrice de recherche, IFSTTAR

André TRICOT – Professeur des universités, Université de Toulouse-le-Mirail

Charles TIJUS – Professeur des universités, Université Paris-8

Daniel MESTRE – Directeur de Recherche, CNRS

Dédicace à

Remerciements

Je tiens à remercier le professeur Mireille Bastien-Toniazzo pour m'avoir ouvert les portes de son bureau il y a maintenant 6 ans et m'avoir accordé sa confiance en acceptant de diriger ce travail. Vous avez su me guider, m'orienter, m'encourager, me conseiller tout en me laissant la liberté et l'autonomie nécessaire au développement du futur enseignant-chercheur qui se cache en moi. Merci pour la gentillesse et la patience dont vous avez fait preuve, vous avez été et vous êtes d'une aide et d'un soutien inestimable. Merci au Professeur Claude Bastien pour nos discussions et le regard toujours pertinent qu'il a apporté sur ce travail et qui a finalement très souvent éclairé mes idées, j'ai tout simplement appris sans cesse à vos côtés.

Je remercie l'IFSTTAR d'avoir financé ce travail et l'équipe du laboratoire Mécanisme d'Accident de Salon de Provence dirigé par Joël Yerpez pour m'avoir accueilli pendant 3 ans. Je remercie tout particulièrement Mme Catherine Berthelon pour avoir accepté de diriger cette thèse. Merci pour ta persévérance et ton énergie qui m'ont permis de tenir bon. Merci pour tous tes précieux conseils et tes relectures et re-relectures attentives ainsi que pour les nombreuses rencontres que j'ai été amené à faire grâce à toi. J'ai beaucoup avancé et appris à tes côtés.

Une pensée particulière pour Isabelle Aillerie qui a mis au point l'ensemble des scénarios visuels et qui a supporté bon nombre de mes questions. Merci à Elodie Gigout qui a élaboré les macros nécessaires au traitement des résultats et à Michelle Bidal, pour toutes ces chasses aux trésors que ce soit sur la toile ou dans la salle d'archive dans laquelle j'aimais me perdre. Une pensée également pour Lynda, Isabelle D, Anne-Laure, Christine...Merci pour ces petits moments informels partagés, pour votre gentillesse et vos encouragements.

Je remercie également Mr le Directeur de Recherche Daniel Mestre d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse, ainsi que Mrs les Professeurs Charles Tijus et Mr André Tricot d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail.

Je tiens également à remercier Thomas Arciszewski du laboratoire Psyche d'Aix en Provence pour son aide précieuse dans le traitement statistiques des questionnaires. Merci pour ton initiation à l'ACP et à toutes ses rotations.

Je remercie l'équipe administrative et pédagogique de l'Institut Universitaire et Technologique ainsi que l'auto-école Jacky Conduite de Salon de Provence pour m'avoir ouvert leurs portes et permis d'effectuer le recrutement des participants. Merci à ces derniers pour leur participation et leur patience face à un simulateur quelle que fois récalcitrant.

Une pensée pour les étudiantes dont j'ai eu plaisir à encadrer les travaux : Aurélie Castel & Cécile Tison. Ensemble, nous avons appris et votre aide me fut précieuse.

Merci à André pour avoir pris de son temps pour corriger l'intégralité de ce manuscrit, et à plusieurs reprises...Plus que quelques instants avant les petits fours..

A mes amis, J-B, Romain, Audrey, Eric, je vous remercie du fond du cœur... Merci d'avoir toujours été présent... malgré mes nombreuses absences... A tous, il va falloir vous défaire de cette vieille rengaine « Elle est pas là, elle bosse sa thèse »...Une pensée toute particulière pour Isabelle , merci de m'avoir dit de me lancer... Tu avais raison.

A mes amis docteurs et futurs docteurs, Julie, Ludivine, Karyn, Hedi, Martin, Lucia, Mathieu...des Barbies Envahisseuses en passant par les Revendications des Anciennes...les arrêts sur l'autoroute...les essais de formule alcool...nos soirées enivrantes et nos discussions

enrichissantes... jusqu'à la relecture du manuscrit... Vous avez tous compté et vous avez chacun(e) à votre manière participé à rendre ces années plus douces...

A tous ceux dont j'ai croisé la route ces dernières années et qui m'ont apporté une bulle d'oxygène... Merci.

Les pieds sur Terre ou la tête dans les Nuages, merci à Toi, Julien, pour ta présence et ton amour. Merci pour tous ces moments de bonheur et en espérant que ceux à venir soit encore meilleurs...

Merci à toi, mon Grand-Frère...Je suis heureuse de te découvrir chaque jour, tu es un être exceptionnel.

Enfin, ces quelques lignes ne seront rien pour te remercier de tout l'Amour que tu me donnes... Merci Maman. Merci d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir apporté ton soutien en toutes circonstances. Tu es mon inspiration, mon exemple.

A tous ceux dont j'ai croisé le chemin, qu'ils m'aient tendues la main ou le bâton...

Résumé / Abstract

Résumé :

L'objectif de cette thèse est de déterminer l'impact de la distraction du conducteur et de la consommation d'alcool, ainsi que leurs interactions, sur les performances des conducteurs novices. Des mesures subjectives des comportements à risques et des performances objectives sur simulateur de conduite sont recueillies. Une première expérimentation étudie les déterminants psycho-sociaux de la prise de risque et le type de comportements à risques rapportés par les jeunes conducteurs. Des différences en fonction de l'expérience, du sexe et du type de formation suivi ont été mises en évidence indiquant une augmentation des comportements à risques au volant pour les jeunes ayant trois ans de permis, notamment les hommes et ceux ayant suivi un apprentissage traditionnel. La seconde expérimentation s'intéresse aux performances lors d'une tâche d'attention divisée sur simulateur de conduite en fonction de l'expérience, de l'âge et du type d'apprentissage suivi. Les conducteurs novices présentent plus de difficultés à réaliser deux tâches simultanément, notamment lorsque l'une d'elles est particulièrement complexe et/ou se situe en périphérie du champ visuel. Enfin, la troisième expérimentation a pour objectif d'étudier l'impact de faible et forte dose d'alcool sur les performances de jeunes conducteurs, novices et expérimentés, lors d'une tâche d'attention divisée. L'effet délétère classique de l'alcool sur le comportement de conduite a été répliqué mais il est plus prononcé pour les conducteurs novices qui adoptent des comportements plus risqués sous l'emprise de l'alcool, notamment dès de faibles doses d'alcool. Cette recherche permet d'approfondir nos connaissances sur les mécanismes d'actions de la distraction et de l'alcool sur les performances du conducteur, en particulier des novices.

Mots clés : Attention divisée ; Alcool ; Expérience de conduite ; Risque ; Simulateur de conduite

Abstract :

The aim of this thesis is to investigate the effects of driver distraction by a secondary task, alcohol consumption and their interaction on performance depending on driving experience. Objective and subjective measures are recorded. The first experience studies the determinants of risk-taking and the kind of risky driving behaviour recalled by young drivers. Differences depending on driving experience, sex, and initial training show an increment of driving risk-taking for young drivers with 3 years of driving experience and with traditional training. The aim of the second experiment is to study the effects of a divided attention task on performance depending on driving experience, age and initial training. Novice drivers have more difficulties to divide their attention between two tasks

than experienced drivers, notably when one of these tasks is complex or located in peripheral vision. The third experiment studies the negative impact of alcohol (low and high doses) on young drivers' performances, novice and experienced, during a divided attention task. The classical detriment effect of alcohol on driving performance is replicated, and this effect is more pronounced for novice drivers who adopt a risky driving behaviour under the influence of alcohol, even with a low dose of alcohol. This research improves our fundamental knowledge on how distraction and alcohol impair drivers' performance, notably when they are novice.

Key words: Divided attention; Alcohol; Driving experience; Risk; Driving simulator

Table des matières

INTRODUCTION.....	16
1. LE FONCTIONNEMENT COGNITIF DU CONDUCTEUR AUTOMOBILE.....	18
1. UNE ACTIVITE COGNITIVE COMPLEXE : LA CONDUITE AUTOMOBILE.....	19
1.1. La représentation mentale du conducteur	19
1.2. Des connaissances aux compétences	21
1.3. Les modèles du fonctionnement cognitif du conducteur automobile.....	23
2. LES PROCESSUS ATTENTIONNELS	30
2.1. L'orientation de l'attention.....	30
2.2. L'attention sélective.....	31
2.3. L'attention divisée	34
2.4. Le contrôle attentionnel.....	38
3. LE CONTROLE DE L'ACTIVITE	41
3.1. Le modèle SRK (Skills-Rules-Knowledge).....	41
3.2. Le contrôle cognitif.....	43
4 : UNE POPULATION SPECIFIQUE : LES JEUNES CONDUCTEURS NOVICES	46
4.1. Les « jeunes conducteurs novices »	46
4.2. Caractéristiques des jeunes conducteurs novices	50
5. PROBLEMATIQUE.....	59
2. EXPERIENCES.....	62
1. EXPERIENCE 1 : DETERMINANTS DE LA PRISE DE RISQUES AU VOLANT POUR LES JEUNES CONDUCTEURS FRANÇAIS.....	63
1.1. Méthode	64
1.2. Analyse statistique.....	65
1.3. Résultats	66
1.4. Discussion	72
2. METHODOLOGIE DES EXPERIENCES 2 & 3	77
2.1. Participants : Une question de vocabulaire	77
2.2. Matériel : Le simulateur de conduite.....	77
2.3. Procédure : le protocole de double tâche	79
3. EXPERIENCE 2 : IMPACT D'UNE DOUBLE TACHE SUR LES PERFORMANCES DE CONDUITE EN FONCTION DE L'EXPERIENCE.	83
3.1. Participants.....	83
3.2. Procédure.....	84
3.3. Variables dépendantes & Analyses statistiques	85
3.4. Résultats	87
3.5. Discussion	101
4. ETAT DE L'ART : IMPACT DE L'ALCOOL SUR LE FONCTIONNEMENT COGNITIF DU CONDUCTEUR AUTOMOBILE	112

4.1. Neurobiologie de l'intoxication aiguë d'alcool	112
4.2. Données épidémiologiques.....	113
4.3. Données expérimentales.....	117
4.3.2. Les expériences en simulateur de conduite	120
4.3.4. Impact de l'alcool en fonction du BAC.....	124
4.3.5. Impact de l'alcool en fonction de la courbe absorption-élimination	124
4.3.6. Impact de l'alcool en fonction de la complexité de la tâche.....	125
4.3.7. Impact de l'alcool en fonction de l'expérience sur la tâche de conduite.....	126
4.3.8. Impact de l'alcool en fonction de la nature des processus cognitifs invoqués.....	127
5. EXPERIENCE 3 : IMPACT DE L'ALCOOL SUR L'ATTENTION DIVISEE DU CONDUCTEUR EN FONCTION DE L'EXPERIENCE DE CONDUITE	130
5.1. Participants.....	130
5.2. Matériel	131
5.3. Procédure.....	131
5.4. Résultats	132
5.5. Discussion	160
3. DISCUSSION GENERALE	174
CONCLUSION.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
4. BIBLIOGRAPHIE	179
5. ANNEXES	194
ANNEXE 1 . DBQ.....	194
ANNEXE 2 . DBQ.....	195
ANNEXE 3 . SCENARIOS DE L'EXPERIENCE 2.....	200
ANNEXE 4 . SCENARIOS DE L'EXPERIENCE 3.....	202
ANNEXE 5. CRITERES D'INCLUSION ET DE NON INCLUSION.....	204

Liste des figures

Figure 1. Illustration du modèle hiérarchique de Michon (1985)	25
Figure 2. Schématisation du modèle TCI de Fuller (2005) (extrait de Fuller, 2005).....	27
Figure 3. Schématisation du modèle de Kahneman (extrait de Kahneman, 1973)	35
Figure 4. Schématisation du modèle des réservoirs multiples de Wickens (Extrait de Wickens, 2002).....	36
Figure 5. Schématisation du modèle du contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1986) (extrait d'Enquête INSERM/IFSTTAR, 2011).....	39
Figure 6. Schématisation du modèle S-R-K de Rasmussen (1986)	42
Figure 7. Représentation schématique du compromis cognitif selon Hoc et Amalberti (1994).	45
Figure 8. Représentation schématique des 3 expériences.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 9. Score moyen au DBQ a. en fonction de l'âge et du sexe du conducteur ; b. en fonction de l'âge et du type d'apprentissage à la conduite ; c. en fonction du sexe et du types de comportements	72
Figure 10. Simulateur de l'IFSTTAR de Salon de Provence ²	78
Figure 11. Illustration de la tâche simple de suivi de véhicule	80
Figure 12. Illustration de la tâche simple d'identification de nombre (a) en vision centrale ; (b) en vision périphérique droite ; (c) en vision périphérique gauche.....	80
Figure 13. Illustration de la double tâche	81
Figure 14. Prise de risques auto rapportée (DBQ) en fonction de l'expérience de conduite... ..	87
Figure 15. Evaluation du risque d'accident en fonction de l'expérience de conduite	88
Figure 16. Performances de conduite en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. DIV min ; b. Temps de régulation de vitesse.....	91
Figure 17. Performances de conduite en fonction de la tâche et de la complexité des séquences : a. position moyenne du véhicule sur la voie ; b. temps de régulation de distance.....	91
Figure 18. Performances à la tâche de jugement de parité en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre : a. pourcentage de réponse correcte ; b. temps de réponse.....	92
Figure 19. Performances à la tâche de jugement de parité en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre : a. pourcentage d'omission ; b. pourcentage d'erreur.....	93
Figure 20. Déviation standard de la position latérale en fonction de l'expérience de conduite.....	94
Figure 21. Temps de freinage en fonction de l'expérience de conduite.....	94
Figure 22. Temps de décélération en fonction de l'expérience de conduite.....	94
Figure 23. Vitesse maximum en fonction de l'expérience de conduite.	95

Figure 24. Pourcentage de réponses correctes en fonction de l'expérience de conduite.	95
Figure 25. Position moyenne du véhicule sur la voie en fonction de l'expérience du conducteur et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule (faible vs forte).....	96
Figure 26. Temps moyen passé en sortie de voie en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule (faible vs forte).....	97
Figure 27. Temps passé en sortie de voie en fonction de l'expérience de conduite, de la tâche : a. lors des séquences peu complexes ; b. lors des séquences complexes.....	97
Figure 28. Déviation standard de la position latérale du véhicule en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la séquence de la tâche de suivi.....	96
Figure 29. Temps de réponse à la tâche de jugement de parité en fonction de l'expérience de conduite et de la tâche : a. au centre ; b. en périphérie.....	98
Figure 30. Pourcentage d'erreurs en fonction de l'expérience de conduite et de la tâche : a. au centre ; b. en périphérie.....	98
Figure 31. Nombre de sorties de voie en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	136
Figure 32. Temps passé en sortie de voie en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	136
Figure 33. Temps de régulation de vitesse en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	136
Figure 34. Vitesse minimum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	137
Figure 35. Distance minimum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	137
Figure 36. Indice de variation de la distance en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	138
Figure 37. Ecart type de DIV en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	138
Figure 38. Temps de réponse en fonction de la tâche et de la localisation de présentation des informations.....	139
Figure 39. Pourcentage de réponses correctes en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre.....	140
Figure 40. Pourcentage d'erreurs en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre.....	140

Figure 41. Pourcentage d’omissions en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre.....	140
Figure 42. Vitesse maximum en fonction de la tâche et de l’expérience de conduite.	141
Figure 43. Temps de régulation de distance en fonction de la tâche et de l’expérience du conducteur.	142
Figure 44. Indice de variation de distance en fonction de la tâche et de l’expérience de conduite.	142
Figure 45. Temps de régulation de vitesse en fonction de l’expérience du conducteur et de la complexité des séquences de la tâche de suivi.....	143
Figure 46. Indice de régulation de distance en fonction de l’expérience de conduite et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	143
Figure 47. Indice de variation de distance en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.....	144
Figure 48. Temps de régulation de vitesse en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.....	144
Figure 49. Temps de réponse en fonction de l’expérience de conduite et de la localisation de présentation du nombre.	145
Figure 50. Pourcentage d’erreurs en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.....	145
Figure 51. Déviation standard de la position latérale du véhicule en fonction du BAC et de la tâche.	146
Figure 52. Amplitude maximum des sorties de voies en fonction du BAC et de la tâche.....	147
Figure 53. DIV minimum (m) en fonction du BAC et de la tâche.....	147
Figure 54. Temps de régulation de vitesse en fonction du BAC et de la tâche.....	148
Figure 55. Nombre d’appuis sur la pédale de frein en fonction du BAC et de la tâche.....	148
Figure 56. DIV minimum en fonction du BAC et de la complexité de la tâche de suivi de véhicule.	149
Figure 57. Nombre de sorties de voie en fonction du BAC et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	149
Figure 58. Temps de régulation de distance en fonction du BAC et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.....	149

Figure 59. DIV minimum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.	150
Figure 60. Amplitude maximum de sortie de voie en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.	150
Figure 61. Temps de freinage en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.	151
Figure 62. DIV maximum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.	151
Figure 63. Pourcentage de réponse correcte en fonction du BAC et de la localisation de présentation de l'information.	152
Figure 64. Indice de variation de distance en fonction du BAC et de l'expérience de conduite.	153
Figure 65. Nombre d'appuis sur la pédale de frein en fonction de la tâche et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	154
Figure 66. Amplitude maximum des sorties de voies en fonction du BAC et de la tâche : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	154
Figure 67. DIV maximum adopté en fonction du BAC et de la tâche : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	154
Figure 68. Pourcentage d'erreurs en fonction de la tâche et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	155
Figure 69. Pourcentage d'omissions en fonction de la tâche et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	155
Figure 70. Temps de régulation de distance en fonction du BAC et de la complexité de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	156
Figure 71. DIV maximum adoptée en fonction du BAC et de la complexité de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	156
Figure 72. Déviation standard de la position latérale (SDLP) en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	157
Figure 73. Indice de variation de vitesse en fonction du BAC et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.	157

Liste des tableaux

Tableau 1. Score moyen (croissant) aux items du DBQ.	66
Tableau 2. Caractéristiques des items (N = 50), Structure factorielle et poids factoriels.	69
Tableau 3. Caractéristiques des participants de l'expérience 2.....	83
Tableau 4. Score aux évaluations (Ecart-type entre parenthèses).....	88
Tableau 5. Performances en fonction de la tâche. (Ecart-type entre parenthèses).....	89
Tableau 6. Performances de conduite en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule (Ecart-type entre parenthèses).....	90
Tableau 7. Performances de conduite en fonction de la tâche de suivi de véhicule et de la complexité des séquences. (Ecart type entre parenthèses).....	90
Tableau 8. Performances à la tâche de jugement de parité de nombre en fonction de la localisation de présentation du nombre. (Ecart type entre parenthèses).....	91
Tableau 9. Performances à la tâche de jugement de parité de nombre en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre. (Ecart type entre parenthèses).	92
Tableau 10. Performances de conduite en fonction de l'expérience du conducteur. (Ecart type entre parenthèses).....	93
Tableau 11. Auto évaluation de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction de la tâche. (Ecart type entre parenthèses).....	99
Tableau 12. Impact de l'alcool en fonction du BAC administrée.....	124
Tableau 13. Classification des tâches selon la méta analyse DRUID.....	125
Tableau 14. Caractéristiques des participants de l'expérience 3.....	130
Tableau 15. Score aux échelles d'évaluation (Ecart-type entre parenthèses).	133
Tableau 16. BAC enregistrées en début et fin de sessions expérimentales (Ecart-type entre parenthèses).....	133
Tableau 17. Performances en fonction de la tâche (Ecart-type entre parenthèses).....	134
Tableau 18. Performances de conduite en fonction de la complexité de la séquence (Ecart-type entre parenthèses).....	134
Tableau 19. Performances à la tâche secondaire en fonction de la localisation de présentation de l'information (Ecart-types entre parenthèses).	138
Tableau 20. Performances en fonction de l'expérience du conducteur (Ecart-types entre parenthèses).....	141
Tableau 21. Performances en fonction du BAC (Ecart-types entre parenthèses).	146

Tableau 22. Auto-évaluation de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction de la tâche (Ecart-type entre parenthèses).	158
Tableau 23. Auto-évaluation de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction du BAC (Ecart-type entre parenthèses).	158

Liste des annexes

- Annexe 1. Graphique des valeurs propres de l'expérience 1
- Annexe 2. DBQ
- Annexe 3. Scénarios de l'expérience 2.
- Annexe 4. Scénarios de l'expérience 3.
- Annexe 5. Critères d'inclusion et de non inclusion de l'expérience 3.

Introduction

La diversité des offres de formation, les nombreuses écoles d'apprentissage à la conduite qui ouvrent leurs portes témoignent aujourd'hui de la nécessité de devenir conducteur. Au regard du grand nombre d'automobilistes, conduire semble être une activité relativement facile et peu exigeante. Pourtant le nombre d'accidents de la route démontre bien que tel n'est pas toujours le cas. En 2011, en France métropolitaine, 65024 accidents corporels dont 3647 mortels ont été recensés. Les jeunes conducteurs représentent 21% de la population impliquée dans les accidents mortels, alors qu'ils ne sont que 9% de la population générale (ONISR, 2012). Les jeunes conducteurs de 18-24 ans sont surreprésentés dans les accidents liés à une perte de contrôle, ainsi que dans ceux liés à une distraction de l'attention, et à un taux d'alcoolémie positif (OCDE, 2006). La sécurité routière est, de ce fait, un enjeu de santé publique ayant des coûts sociaux et financiers très élevés.

Le travail présenté ici traite de l'influence de l'expérience dans l'acquisition d'habiletés complexes comme la conduite automobile et de l'impact négatif de la distraction et de l'alcool lors de cette activité. La thèse montrera qu'il existe des liens entre la distraction de l'attention du conducteur par une tâche secondaire et son manque de compétence lié à son statut de novice. Ensuite, nous nous attacherons à déterminer l'impact délétère de l'alcool sur la conduite des jeunes, novices et expérimentés, notamment lorsqu'ils doivent partager leurs ressources entre plusieurs tâches.

L'exposé théorique essaiera de convaincre le lecteur que l'activité de conduite, complexe et dynamique, est un terrain privilégié d'étude des mécanismes cognitifs mis à l'œuvre dans une activité finalisée. Nous verrons que le conducteur doit élaborer et mettre à jour à chaque instant une représentation mentale de la situation. Cette dernière est fonction du contexte de présentation des informations et va s'enrichir avec l'expérience. Cette problématique sera étudiée dans le cadre du partage des ressources attentionnelles entre les différentes tâches de conduite et du contrôle cognitif de l'activité. Nous nous pencherons sur les différents processus mis en œuvre pour le conducteur novice et expérimenté.

La partie méthodologique présente trois expériences. La première d'entre elles a pour objet l'étude des déterminants de la prise de risques au sein d'un échantillon de la population de jeunes conducteurs. La seconde présente une expérimentation réalisée sur simulateur de conduite visant à

différencier le comportement de conducteurs en fonction de l'expérience, lors d'une tâche d'attention divisée. La troisième recherche a pour objectif d'évaluer la dégradation des performances du conducteur liée à une distraction de l'attention par une tâche secondaire d'une part, et à l'influence de faibles et fortes doses d'alcool d'autre part. Nous déterminerons ensuite si la dégradation des performances est plus prononcée pour les novices que pour les expérimentés. Chacune de ces sous-parties est organisée de manière à présenter la méthodologie de l'expérimentation, les résultats obtenus ainsi qu'une discussion des résultats de l'expérimentation en question. Enfin, une conclusion générale est consacrée à l'élaboration de différents profils de conducteurs ainsi qu'aux différentes perspectives, fondamentales et appliquées, offertes par ce travail.

1. Le fonctionnement cognitif du conducteur automobile

1. Une activité cognitive complexe : la conduite automobile

Analyser au mieux l'activité de conduite automobile ne peut se faire sans s'appuyer sur une compréhension générale de l'activité cognitive humaine. La question des relations entre perception et action connaît depuis peu un regain d'intérêt notable. On redécouvre à l'appui de nouveaux indicateurs la force du couplage actif entre l'expérience perceptive et la situation concrète. Cette conceptualisation des relations entre action, perception et situation est pertinente pour rendre compte des phénomènes dynamiques particulièrement complexes présents dans l'activité de conduite (Villame, 2004). La psychologie cognitive, dont l'objet d'étude est la façon dont les êtres humains acquièrent des connaissances, les conservent et les utilisent dans les situations auxquelles ils sont confrontés (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004), est une clé d'entrée pour expliquer le comportement du conducteur. Conduire une automobile suppose un déplacement dans un environnement en constante évolution. Ce déplacement est orienté vers des buts, soumis à différentes règles explicites et implicites et il s'effectue au moyen d'un outil particulier, le véhicule (Neboit, 1982). Le caractère dynamique de la conduite automobile implique une évolution permanente des caractéristiques de l'environnement, même indépendamment des actions de l'opérateur (Carrerras, 1999 ; Cellier, 1996). Or, les situations dynamiques sur lesquelles l'homme n'exerce qu'un contrôle partiel sont connues pour être des occasions privilégiées de voir à l'œuvre les mécanismes adaptatifs de la cognition humaine (Amalberti, 2001a). L'étude des représentations et des stratégies élaborées par le conducteur ainsi que des processus impliqués au cours de l'activité de conduite ne peut qu'enrichir les connaissances générales en psychologie cognitive. Autrement dit, la conduite automobile est une activité dont les caractéristiques (monotonie de certaines tâches ou au contraire profusion d'informations) constituent une source privilégiée d'approche située des mécanismes cognitifs, dans un environnement présentant par ailleurs des contraintes spatiales et temporelles spécifiques.

1.1. La représentation mentale du conducteur

La représentation mentale est au cœur de l'activité cognitive. Elle se fonde sur les interactions entre l'homme et son environnement pour créer des connaissances individuelles (Richard, 1990 ; Wilson, 2002). Elle est finalisée en fonction des objectifs et n'est jamais une copie conforme à la réalité. C'est le résultat d'une reconstruction guidée à la fois par des activations ascendantes (le caractère

saillant, intense, nouveau des informations présentes dans la scène) et descendantes (les connaissances de l'individu et ses buts). La représentation mentale de la situation est donc toujours lacunaire, partielle : elle met en avant les éléments centraux et inhibe les moins pertinents pour l'objectif poursuivi.

La représentation mentale est au centre du modèle de la conscience de la situation (Endsley, 1988, 1995) souvent utilisé pour décrire l'activité du conducteur (Bailly, 2004 ; Koustanai, 2005). Trois mécanismes participent à son élaboration : la perception de l'environnement, la compréhension de l'environnement et l'anticipation des états futurs. Tout d'abord l'opérateur prélève les informations pertinentes en fonction de l'objectif poursuivi. Puis il interprète et comprend la situation en maintenant en mémoire les informations préalablement sélectionnées. Enfin il se projette sur les divers états futurs possibles ce qui nécessite d'anticiper les événements susceptibles de se produire. Ces trois étapes (perception, compréhension et anticipation) sont dépendantes les unes des autres. Par exemple, le conducteur automobile, immergé dans un environnement dynamique et soumis à une forte pression temporelle, doit prendre des décisions rapidement pour s'adapter aux exigences de la situation. Cette adaptation permanente nécessite une mise à jour continue de la représentation mentale de la situation. Elle est basée à la fois sur les éléments pertinents de la situation de conduite (trajectoire et vitesse des véhicules, signalisation, environnement, état de la route, météo...) et les connaissances en mémoire du conducteur. Ce dernier comprend et interprète la situation en intégrant non seulement la dimension descriptive des éléments pertinents, mais également les relations fonctionnelles que ces éléments entretiennent entre eux et avec les connaissances en mémoire. Sur la base de cette représentation mentale, le conducteur va anticiper les possibles évolutions de la situation. Imaginons un conducteur qui arrive à une intersection marquée par un feu tricolore : il possède en mémoire la connaissance de règles de signalisation liées à un feu tricolore. Si le feu est orange, le conducteur va tout d'abord intégrer les différents éléments de l'environnement (le feu orange, l'intersection, la position et vitesse des autres véhicules) puis mettre en lien ces divers éléments entre eux pour anticiper l'évolution de la situation (le feu va passer au rouge) et réguler son comportement (s'arrêter au feu).

Par ailleurs, de nombreux facteurs liés à l'activité et/ou à l'opérateur médiatisent la relation entre conscience de la situation et performance. D'une part, le contexte de présentation des informations oriente la sélection d'une stratégie adéquate via l'élaboration de la représentation mentale de la situation. D'autre part, l'expérience et la pratique, de par la diversité des situations rencontrées, sont

également des facteurs d'enrichissement de la représentation mentale. Ainsi, les conducteurs novices sont susceptibles d'élaborer des représentations mentales appauvries comparativement à celles des conducteurs expérimentés (Bailly, 2004). Ils identifient les éléments de la scène routière indépendamment les uns des autres et présentent des difficultés pour faire des liens entre ces différents éléments. Ils manifestent par ailleurs des capacités mnésiques inférieures à celles des conducteurs expérimentés (Bailly, *ibid*) et ont des difficultés à réaliser des projections futures de leurs comportements et de ceux des autres véhicules (Endsley, 2000). Ces résultats confirment de précédents travaux qui laissaient supposer des capacités d'anticipation limitées pour les conducteurs novices (Lestina et Miller, 1994 ; Neboît, 1982). La pauvreté de la représentation mentale des conducteurs novices peut aboutir à une conscience de la situation erronée ou incomplète. Or, la qualité des décisions ainsi que l'adéquation des actions entreprises sont dépendantes de la conscience de la situation (Bailly, Bellet et Goupil, 2003).

La conscience de la situation s'inscrit dans une approche située de la cognition puisqu'elle est déterminée en partie par les buts et les attentes de l'opérateur et qu'elle va par la suite orienter son attention, sa prise de décision et ses actions. Dans la mesure où nous envisageons la connaissance comme une construction contextuelle et individuelle, l'intérêt de l'approche située de la cognition, adoptée dans ce travail, réside dans sa capacité à rendre compte des différences intra et interindividuelles au sein d'activités finalisées. Dans ce cadre, nous allons tenter de décrire et d'expliquer les mécanismes d'apprentissage d'habiletés complexes mises en œuvre dans la conduite automobile.

1.2. Des connaissances aux compétences

L'apprentissage de la conduite automobile s'apparente dans un premier temps à un apprentissage par instruction, notamment dans le cadre de la formation à la conduite avec un moniteur professionnel et/ou un adulte expérimenté. Toutefois, elle relève par la suite d'un long apprentissage au fil des années d'acquisition d'expérience et de compétences. En psychologie cognitive, l'apprentissage est envisagé comme un enrichissement du répertoire de comportements, par ajout de nouvelles connaissances ou par modification des connaissances antérieures en fonction de la diversité des contextes rencontrés. Il se traduit par une transformation de la nature même des connaissances : les connaissances générales, transmises par l'instruction se transforment au travers des différents contextes rencontrés en une connaissance fonctionnelle, activée automatiquement

dans le contexte donné (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004). Autrement dit, la construction d'une connaissance est guidée par l'usage qui en sera fait et dépend donc de la nature de la tâche (Richard, 1990). Les différences entre les novices et experts trouvent donc leur origine, au moins en partie, dans l'organisation des connaissances en mémoire et dans la façon dont celles-ci vont guider les actions.

Dans tous les apprentissages explicites, les performances s'améliorent indéniablement au fil des essais en automatisant une partie des processus mobilisés. Par exemple, lorsqu'un enfant apprend à lire, il doit porter toute son attention sur l'identification des mots au détriment parfois de l'accès au sens. Ce traitement contrôlé nécessite du temps et consomme une grande part des ressources attentionnelles. En revanche, pour le lecteur adulte, l'identification ne mobilise quasiment aucune ressource, elle devient automatique et très rapide. Il en va de même pour l'apprentissage de la conduite automobile. Cette dernière est composée de différentes sous-tâches impliquant la coordination simultanée de compétences motrices, perceptives et cognitives. L'ensemble de ces compétences évolue énormément dans les premiers mois qui suivent l'obtention du permis.

Par exemple, lors des premières heures de conduite, toute l'attention du conducteur est focalisée sur la gestion des commandes et le maintien de la position du véhicule dans la voie. Pour les conducteurs novices, les sous-tâches motrices nécessaires à la maîtrise du véhicule nécessitent un contrôle de l'attention et mobilisent une grande partie des ressources. Au fur et à mesure de l'acquisition d'expérience, elles vont mobiliser de moins en moins de ressources pour être réalisées de manière quasi-automatique. D'ailleurs, contrairement à un conducteur expérimenté, il est très difficile pour un novice d'écouter la radio ou d'entamer une quelconque activité secondaire car il n'a pas encore automatisé la coordination simultanée des sous-tâches de conduite. Le contrôle visuel exercé sur les commandes du véhicule et le levier de vitesse de la part des novices traduit bien l'attention nécessaire à la réalisation des sous-tâches motrices (Chan, Pradhan, Pollatsek, Knodler et Fisher, 2010). Contrairement aux sous-tâches perceptives et cognitives comme la recherche active d'informations par exemple, qui peuvent être interrompues puis reprises, les sous-tâches motrices nécessaires à la maîtrise du véhicule et au contrôle de la trajectoire ont des exigences continues dans le temps. Ainsi les ressources attentionnelles du novice sont investies en grande partie dans les sous-tâches motrices au détriment des sous-tâches perceptives et cognitives comme la détection du danger.

Le modèle ACT (Adaptative Control of Thought) d'Anderson (1982), bien qu'il soit élaboré pour rendre compte de la mémoire, ce que nous ne développerons pas dans ce travail, a pour avantage de décrire et simuler comment un novice devient expert dans un domaine donné. Au début de l'apprentissage de la conduite automobile, le novice opte pour des stratégies basées sur les connaissances générales et les règles apprises. C'est la *phase cognitive* où les informations sont codées sous forme déclarative. Les performances sont incertaines et une dégradation est attendue en cas de tâche secondaire. Avec l'expérience, le conducteur acquiert de nouvelles connaissances et transforme ses connaissances antérieures suite aux différentes situations rencontrées. Les associations entre séquences d'actions dans des conditions familières se renforcent et la verbalisation des connaissances devient difficile. L'individu est alors en *phase associative*. Au fil de la pratique, l'individu devient un expert de la tâche, les processus mobilisés s'automatisent et les performances augmentent. Il entre alors en *phase autonome* et ses connaissances déclaratives se transforment en connaissance procédurale. Durant la phase autonome, le conducteur est capable, dans la limite de ses ressources disponibles, de réaliser une tâche secondaire sans que ses performances soient dégradées.

En dépit de son intérêt, le modèle d'Anderson (1982) s'inscrit dans des modèles computationnels opposant connaissances déclaratives et procédurales, sans tenir compte du contexte de l'activité. Il postule que tous les apprentissages peuvent être expliqués par un mécanisme unique. Or, la connaissance ne peut se former qu'en lien avec son usage dans un contexte donné (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004 ; Richard, 1990). Par conséquent, les tentatives d'explication de l'acquisition et du développement des compétences se doivent d'intégrer leur finalité dans l'action. Pour cela, des modèles spécifiques à l'activité du conducteur sont présentés dans la partie suivante.

1.3. Les modèles du fonctionnement cognitif du conducteur automobile

L'activité du conducteur peut être décrite et analysée en considérant les compétences du conducteur dans la tâche de conduite proprement dite, elle-même décomposable en multiples sous-tâches.

Un modèle du comportement du conducteur (Brouwer, 2002)

Brouwer (2002) s'est attaché à décrire les différents niveaux d'analyse pour déterminer les compétences du conducteur. Ce modèle, utilisé en neuropsychologie dans une optique d'évaluation et de rééducation, définit un concept global de compétence de conduite qui recouvre 3 composantes:

L'aptitude à la conduite (« fitness to drive ») correspond aux capacités physiques et fonctionnelles minimales nécessaires à l'apprentissage de la conduite et à l'application des différentes règles. Cette aptitude est généralement mesurée par un médecin. C'est un concept médico-légal, défini par les autorités compétentes.

Le savoir-faire du conducteur (« driving skills ») renvoie aux compétences à sélectionner les informations pertinentes pour l'activité de conduite et à éviter certaines situations dangereuses. Ce savoir-faire est évalué par la performance de conduite et est par conséquent fortement influencé par l'expérience.

Le comportement du conducteur correspond à ce que le conducteur fait réellement au volant de sa voiture. Un individu peut avoir toutes les aptitudes et compétences nécessaires à la conduite et pour autant adopter un comportement inadapté comme lors de la conduite sous emprise d'alcool.

L'intérêt du modèle de Brouwer est d'insister sur les interactions entre les trois composantes de la compétence (comportement, savoir-faire, aptitude) lesquelles sont fonction du niveau d'expérience de l'individu. Ainsi, par exemple en cas de déficit d'une aptitude physique ou cognitive, des mécanismes de compensation peuvent être mis en œuvre par le conducteur expérimenté au niveau du savoir-faire et du comportement comme un allongement des distances de sécurité, par exemple (Van Winsum et Brouwer, 1997).

Un modèle hiérarchique (Michon, 1985)

Michon (1985) a défini l'activité des conducteurs expérimentés comme un ensemble de sous-tâches simultanées ayant chacune des exigences cognitives et temporelles différentes. Le coût cognitif et les exigences temporelles suivent une relation inversement proportionnelle. Autrement dit, plus le coût cognitif de la tâche est grand, moins la pression temporelle est forte. Les différentes sous-tâches sont représentées par trois niveaux hiérarchiques de comportement (niveau opérationnel, tactique et stratégique) (voir fig. 1).

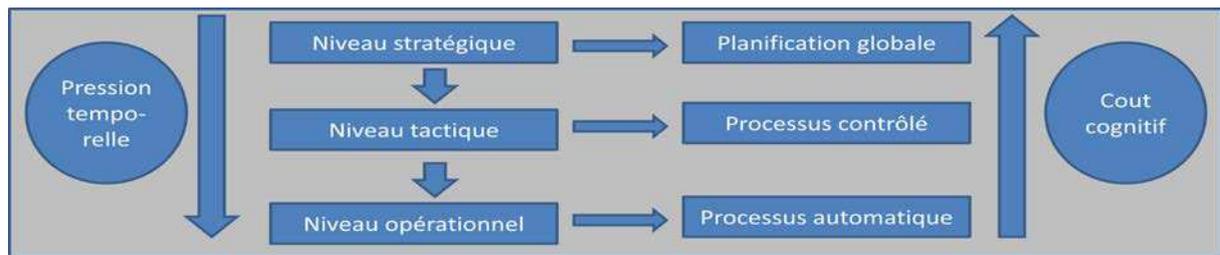


Figure 1. Illustration du modèle hiérarchique de Michon (1985)

Au niveau stratégique, on retrouve les activités de navigation et de planification du parcours : le choix de la route, les stratégies pour éviter les embouteillages, le temps de parcours, l'heure de départ. Ces activités font appel à des fonctions cognitives de haut niveau comme la planification, l'organisation, le raisonnement et la prise de décision. Elles exigent donc de nombreuses ressources cognitives mais ne sont pas soumises à une pression temporelle élevée.

Le niveau tactique correspond à l'ensemble de manœuvres de conduite effectuées durant le trajet. Il recouvre les tâches de pilotage, de gestion de vitesse et de distance et les anticipations effectuées par le conducteur. Ces tâches font appel à la fois aux fonctions exécutives comme la mémoire de travail, la planification, la flexibilité mentale et également à des compétences de plus bas niveaux comme l'analyse perceptive. Dans ce niveau du modèle, un contrôle de l'attention est crucial et par conséquent une grande quantité de ressources attentionnelles est mobilisée. Les tâches sont réalisées dans des conditions de pression temporelle relativement modérées.

Au niveau opérationnel est réalisé l'ensemble des activités de contrôle de base du véhicule (tâches de guidage et de contrôle de la trajectoire). Ce niveau comprend l'exécution motrice de tâches dirigées par les niveaux supérieurs. Les actions du niveau opérationnel sont essentiellement automatisées et ne nécessitent donc que peu ou pas de ressources attentionnelles. Elles ont toutefois des exigences temporelles particulièrement élevées. En effet, pour mener à bien l'ensemble des tâches impliquées dans le niveau opérationnel les capacités visuo-perceptives et motrices sont mobilisées dans un laps de temps relativement court. Ce niveau est plus efficace pour les conducteurs expérimentés que pour les novices pour lesquels la totalité des sous-tâches de conduite nécessite encore un contrôle attentionnel.

Ces trois niveaux étant en perpétuelle interaction, la fluidité de l'enchaînement d'un niveau à l'autre dépend de la répartition des ressources attentionnelles. Plus le degré d'automatisation du niveau opérationnel est élevé, plus la quantité de ressources disponibles pour le niveau tactique qui nécessite une recherche active d'informations dans un laps de temps relativement court, est grande.

Le modèle hiérarchique de Michon (1985) a pour avantage de donner une interprétation des comportements de conduite observables en situation réelle, y compris ceux des usagers vulnérables (Tom, Auberlet et Brémond, 2008). Il a d'ailleurs été utile dans l'interprétation de plusieurs travaux expérimentaux (Hamama, 2010 ; Laapotti, Keskinen, Hattaka et Katila, 2001). Toutefois, ce modèle reste essentiellement descriptif et ne permet pas d'émettre des prédictions claires sur les performances, ce que le modèle de Fuller (2000, 2005) rend possible.

Le modèle d'interface tâche-capacité (TCI) (Fuller, 2000, 2005).

L'originalité du modèle de Fuller (2005) (voir fig. 2) réside dans la formalisation d'une idée souvent évoquée : le niveau de difficulté de la tâche est la résultante des interactions dynamiques entre les déterminants des exigences de la tâche et ceux de la capacité du conducteur.

(1.) La capacité du conducteur est initialement contrainte par des caractéristiques biologiques comme la vitesse de traitement de l'information, le temps de réaction, la coordination motrice. Au fil du temps, le conducteur acquiert des connaissances et compétences tirées de l'entraînement et de son expérience (règles de la route et connaissances fonctionnelles). Ensemble, ces connaissances biologiques et acquises par l'entraînement déterminent la compétence du conducteur. Cependant, cette dernière n'est pas nécessairement observable via la performance car la compétence est sensible à de nombreuses variables comme l'attitude, la motivation, la fatigue, le manque de vigilance, la distraction, l'alcool, la drogue, ou encore les émotions et le stress. L'ensemble de ces variables peut altérer la compétence du conducteur et venir s'ajouter au manque de connaissances qui caractérise les conducteurs inexpérimentés.

(2.) Les exigences de la tâche de conduite sont déterminées à la fois par des facteurs externes comme l'environnement (la visibilité, la signalisation verticale et horizontale, la surface et le tracé de la route, etc...), les autres usagers, les caractéristiques du véhicule (la présentation des informations, la position des commandes de contrôle et l'éclairage, etc...) ainsi que par des facteurs propres au conducteur (facteurs sur lesquels le conducteur peut agir directement) comme la trajectoire et la vitesse adoptées. La conduite automobile peut être qualifiée de tâche autogérée dans la mesure où les exigences de la tâche sont sous le contrôle du conducteur qui adapte sa vitesse et sa trajectoire à la situation rencontrée. Plus le conducteur roule vite, moins il a de temps pour prélever les informations pertinentes dans l'environnement, les traiter et y réagir.

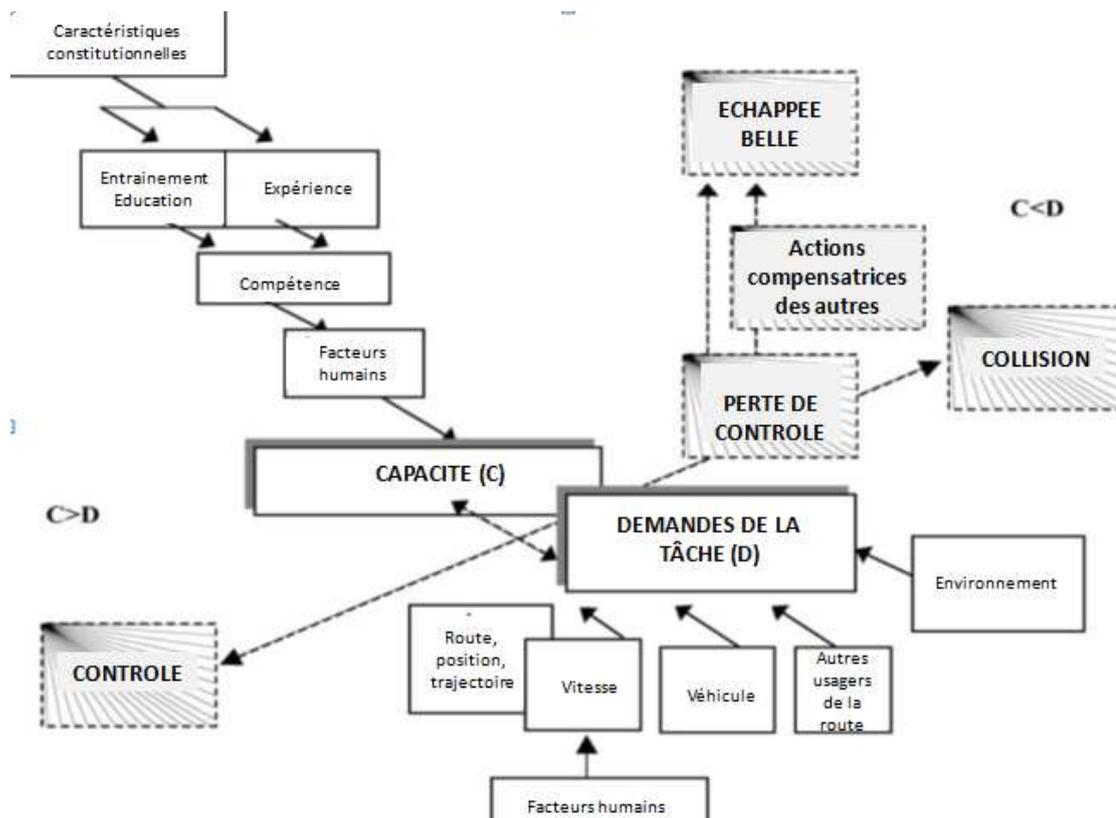


Figure 2. Schématisation du modèle TCI (extrait de Fuller, 2005)

Prédictions des performances du conducteur

Ce modèle a pour avantage de prédire les performances du conducteur en fonction du rapport entre exigences de la situation et capacité du conducteur. Quand la capacité du conducteur excède les exigences de la tâche, sa réalisation se fait sans difficulté. Le conducteur contrôle la situation. Toutefois, quand la capacité est égale aux exigences de la tâche, le conducteur est opérationnel dans la limite de ses capacités et la tâche devient plus difficile. Enfin, quand les exigences de la tâche excèdent la capacité du conducteur, la tâche de conduite devient trop difficile et une perte de contrôle du véhicule est susceptible de se produire.

Tous les événements susceptibles d'attirer l'attention du conducteur, comme la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite, augmentent les exigences de la tâche et par conséquent sa difficulté. Au seuil où les exigences de la tâche excèdent la capacité, une dégradation progressive des performances est attendue. Celle-ci se traduit par des difficultés de maintien de la trajectoire du véhicule sur la voie (Hosking, Young et Regan, 2009), une réduction du nombre de fixations dans les rétroviseurs et sur les commandes de contrôle du véhicule (Brookhuis et De Waard, 2010) et des difficultés pour éviter un obstacle ou s'arrêter à temps (Amado et Ulupinar, 2005 ; Horberry, Anderson, Regan, Triggs et Brown, 2006 ; Liu et Ou, 2011 ; Strayer, Drews et Crouch, 2006). Ces

difficultés sont corrélées avec la mise en œuvre de mécanismes compensatoires se traduisant par un ralentissement de la vitesse du véhicule ainsi qu'une augmentation des distances de sécurité avec le véhicule qui le précède (Brookhuis, De Vries et De Waard, 1991 ; Brookhuis et De Waard, 1994 ; Recarte et Nunes, 2003)

L'homéostasie de la difficulté de la tâche

La difficulté de la tâche se situe donc à l'intersection entre les exigences de la tâche et la capacité du conducteur. De manière générale, le conducteur maintient un niveau moyen de difficulté : si la difficulté est trop élevée, il risque de perdre le contrôle, en revanche, si la tâche est trop facile, son niveau de vigilance diminue et ses performances chutent. Le conducteur tend donc à privilégier l'utilisation de routines et de mécanismes de compensation lui permettant de réduire la charge mentale lorsque l'activité devient trop complexe. Le principe d'homéostasie de la difficulté de la tâche explique non seulement les ajustements continus de vitesse aux dangers perçus sur la route mais aussi le phénomène général d'adaptation comportementale basée sur des mécanismes de compensation.

En conclusion, une place importante est accordée aux processus attentionnels au sein des modèles du fonctionnement cognitif du conducteur. Le modèle d'évaluation de la conduite de Brouwer (2002) suggère qu'une capacité attentionnelle minimale est nécessaire pour gérer une situation de conduite et que cette capacité doit être évaluée dans un cadre médical. Le modèle de Michon (1985) postule que la quantité de ressources attentionnelles allouées à chacun des niveaux conditionne la performance du conducteur. Enfin, Fuller (2005) affirme que la quantité de ressources allouée à la tâche dépend de la difficulté de la tâche, elle-même déterminée par les exigences liées à la tâche et celles liées à la capacité du conducteur.

En résumé, l'activité de conduite automobile est un terrain privilégié d'analyse des mécanismes cognitifs impliqués dans une situation dynamique et complexe. Le conducteur élabore à chaque instant une représentation mentale de la situation basée sur le prélèvement des éléments pertinents et ses connaissances antérieures. Les processus de sélection de l'information pertinente s'améliorent au fur et à mesure de l'apprentissage. Les connaissances générales transmises au cours de l'apprentissage explicite avec un instructeur se transforment, avec l'expérience, en connaissances fonctionnelles activées automatiquement dans un contexte donné. Cette fonctionnalisation des

connaissances se retrouve dans l'opérationnalisation des sous-tâches de conduite qui ne requiert quasiment pas ou peu de ressources cognitives (Michon, 1985). Par ailleurs, d'après le modèle d'interface tâche-capacité, les performances du conducteur dans une tâche donnée sont susceptibles d'être prédites en évaluant les déterminants des exigences de la tâche et ceux liés à la capacité du conducteur (Fuller, 2005). De l'ensemble de ces considérations, une place importante est accordée aux processus attentionnels qui vont diriger les mécanismes de sélection de l'information et de partage des ressources entre les différentes sous-tâches lors d'une activité de contrôle.

2. Les processus attentionnels

L'attention est définie comme une instance de contrôle et d'orientation de l'activité (Richard, 1980). Cette définition suggère que l'attention a un rôle de modulateur central en accordant les priorités aux différentes opérations mentales et en distribuant les ressources nécessaires en fonction des exigences de la tâche et des connaissances de l'individu. Toutefois, l'attention n'est pas une fonction ni un mécanisme unique et unitaire (Camus, 1996 ; Couillet, Leclerc, Moroni et Azouvi, 2002), mais bien un ensemble de processus différents qui filtrent, commandent et déterminent toutes les autres fonctions cognitives (Mazeau, 2003). Nous préférons donc employer les termes de processus attentionnels, parmi lesquels on retrouve la capacité de l'homme à orienter son attention, à sélectionner les informations pertinentes et à diviser ses ressources entre plusieurs tâches.

2.1. L'orientation de l'attention

Prélever les informations pertinentes dans l'environnement implique la mise en jeu de deux mécanismes d'orientation attentionnelle qui interviennent simultanément. La saillance d'une information peut attirer l'attention de manière irrésistible. Par exemple, une affiche publicitaire placée en bord de route attire irrésistiblement l'attention du conducteur. L'attention est alors qualifiée de passive (ou exogène), dirigée par les propriétés des stimuli externes (processus « ascendant » ou encore « bottom-up »). Cette forme d'orientation attentionnelle est automatique, spontanée et se déclenche très rapidement. D'autre part, le prélèvement d'informations pertinentes implique une recherche consciente des informations, ce qui exige l'activation de processus « descendants » ou « top-down », autrement dit dirigés directement par les connaissances. Par exemple, l'intégration des éléments de signalisation comme les panneaux « STOP » nécessite une recherche d'information active basée sur les connaissances antérieures du conducteur (Shinoda, Hayhoe et Shrivastava, 2001).

Les processus ascendants et descendants sont en perpétuelle interaction. A chaque instant, sur la base de ses connaissances, le conducteur émet des hypothèses sur les futures évolutions possibles de la situation tout en traitant les différents éléments présents dans l'environnement.

2.2. L'attention sélective

Selon les théories du traitement de l'information (Fodor, 1983), les stimuli abondants de l'environnement sont traités par différents registres sensoriels, puis une analyse perceptive de ces informations est effectuée pour aboutir à l'extraction du sens et à la sélection d'une réponse appropriée à la situation. Le système de traitement de l'information qu'est le système cognitif reçoit en permanence une multitude d'informations provenant de différentes sources. L'attention joue un rôle de filtre pour le système de traitement de l'information en sélectionnant les informations les plus pertinentes et en rejetant ou atténuant les informations concurrentes. Cette sélection est guidée à la fois par des processus ascendants (intensités et saillances des stimuli) et descendants (objectifs et connaissances de l'individu).

Les théories du filtrage attentionnel

Les théories de l'attention sélective envisagent le traitement de l'information sous forme d'un canal unique et postulent l'existence d'un filtre attentionnel pour éviter la surcharge du système de traitement. La question de la position de ce filtre attentionnel a fait débat pendant de longues années et a été illustrée à travers plusieurs modèles (Broadbent, 1958 ; Deutsch et Deutsch, 1963 ; Norman, 1968 ; Treisman 1969).

Modèle de la sélection attentionnelle précoce

Le modèle du canal unique de Broadbent (1958) suppose une séquentialité dans le traitement de l'information: lorsque deux informations atteignent le système sensoriel en même temps, une seule d'entre elles sera transmise au système de traitement central. La sélection attentionnelle est qualifiée de précoce car l'information est filtrée sur la base de ses caractéristiques physiques (taille, couleur, orientation, tonalité, etc..). Le filtre attentionnel est situé avant l'analyse perceptive de l'information. L'information n'est donc pas traitée si elle n'a pas fait l'objet au préalable d'une sélection par le filtre attentionnel.

Ce modèle a souvent été validé dans des études utilisant le paradigme d'écoute dichotique. Typiquement, un casque est placé sur les oreilles du participant et un message différent est présenté en continu dans chaque oreille. La tâche du participant est de rappeler à voix haute le message présenté dans l'oreille attentive. De manière générale, l'auditeur qui effectue la tâche est incapable

de rappeler le message présenté dans l'oreille non attentive. Celui-ci n'est pas traité car il n'a pas fait l'objet d'une sélection préalable par le filtre attentionnel.

Ce modèle fut rapidement mis en cause par des recherches ultérieures qui ont montré que les auditeurs pouvaient occasionnellement rapporter des informations provenant de l'oreille non attentive, notamment lorsqu'elles étaient présentées dans des conditions adéquates comme lors de l'alternance rapide des canaux de présentation, ou lorsqu'elles étaient particulièrement saillantes comme le prénom du sujet par exemple (Gray et Wederburn 1960 ; Moray, 1959). De plus, le modèle de Broadbent (ibid.) postule que le traitement de l'information, et son coût cognitif est fonction des caractéristiques du stimulus. Cette théorie ne rend pas compte du fait que des caractéristiques individuelles, comme le niveau d'expertise sur la tâche, modifient la nature même du traitement cognitif. Par exemple, lors de la première leçon d'apprentissage à la conduite, toute l'attention du conducteur novice est mobilisée par la gestion des commandes et la familiarisation avec l'habitacle du véhicule et l'environnement de conduite. Il est très difficile au conducteur d'écouter la radio ou d'entamer une quelconque activité secondaire. Avec quelques mois d'expérience, la même tâche de conduite, peut être effectuée sans difficulté, et ceci tout en écoutant la radio et en discutant avec un passager. La nature des processus attentionnels n'est donc pas fonction de la tâche mais varie bien selon le niveau d'expertise du sujet, alors même que les caractéristiques de la tâche restent identiques.

Filtrage attentionnel atténuateur

Treisman (1969) fut une des premières à expliquer comment un message sur lequel l'attention ne s'est pas portée peut être tout de même partiellement rappelé. Elle postule l'existence d'un filtre atténuateur distribué à différents niveaux de traitements de l'information et suppose que l'activation des connaissances dépend à la fois des caractéristiques perceptives des stimuli et de leur importance pour le sujet. Un premier filtrage s'effectue sur la base des traits élémentaires du signal (traitement pré-attentif) et un second sur la base du seuil d'activation de l'information (traitement attentif). Le filtrage ne se base plus seulement sur les caractéristiques physiques du stimulus mais bien aussi sur les caractéristiques sémantiques. Il existe par conséquent un filtre attentionnel situé après l'analyse perceptive, avant l'étape de sélection de la réponse. Ce filtre attentionnel est qualifié de tardif c'est-à-dire activé lors de l'accès au sens de l'information. Les informations auxquelles l'individu ne porte pas attention ne sont pas rejetées ni bloquées, mais accèdent ainsi au système de traitement central de manière atténuée.

La différence entre ces deux modèles est claire si on examine la façon dont chacun rend compte de l'effet « cocktail party ». Il s'agit ici de cette capacité à suivre une conversation tout en étant immergé dans un environnement bruyant. D'après le modèle de Broadbent (1958), les conversations environnantes qui ne sont pas filtrées par l'attention sont bloquées et ne peuvent pas faire l'objet d'un traitement par le système central alors que dans le modèle de Treisman (ibid), toutes les conversations sont filtrées mais certaines seront atténuées et seule la conversation la plus pertinente sera traitée pour aboutir à une réponse appropriée.

Modèles de la sélection attentionnelle tardive

En opposition à ces modèles « pré-attentionnels », certains auteurs ont postulé que la sélection s'effectue après l'étape de reconnaissance des formes et avant l'encodage mnésique. Dans ces modèles, qualifiés de modèles tardifs (Deutsch et Deutsch, 1963, Norman, 1968), la sélection attentionnelle est effectuée après l'analyse perceptive. Il n'existe pas de sélection précoce, l'ensemble des informations est traité et ce n'est qu'au moment d'entrer en mémoire que l'attention sélectionne les informations sur la base de leur importance pour le sujet.

Jusqu'ici l'attention était conçue comme un filtre permettant de laisser passer plus ou moins d'informations en effectuant une sélection qui peut être soit précoce (basée sur les caractéristiques physiques de l'information), soit tardive (basée sur les caractéristiques sémantiques de l'information). En effet, certains résultats confortent l'idée selon laquelle le filtre attentionnel est dû aux limitations de la perception, alors que d'autres étayent l'affirmation selon laquelle un filtre attentionnel est consécutif à la perception et la reconnaissance des formes. L'absence de consensus sur la position du filtre attentionnel laisse place à l'idée de l'existence de plusieurs filtres situés à différents niveaux de traitements. On parle alors de 'mode de sélection' plutôt que de 'filtre' (Roulin, 1998). Dorénavant l'accent est mis sur un mécanisme de sélection de l'information, plutôt que sur un mécanisme de protection face à la surcharge d'information. Par ailleurs, cette absence de consensus sur la position du filtre attentionnel laisse penser que l'individu exerce un contrôle sur le filtrage des informations en fonction des exigences de la tâche. Toutefois, il semble plus difficile de sélectionner une information sur la base de ses caractéristiques sémantiques que sur la base de ses caractéristiques physiques ce qui suggère que l'effort mental est plus important dans les modèles soutenant un filtrage attentionnel tardif que précoce.

Enfin, les recherches sur l'attention s'intéressent de plus en plus aux exigences des différentes tâches. Une des caractéristiques essentielles des processus attentionnels réside ainsi dans la capacité de l'individu à partager ses ressources entre plusieurs sources d'informations.

2.3. L'attention divisée

La complexité de la réponse à la question « Est-il possible de réaliser plusieurs tâches en même temps ? » peut se mesurer à la quantité de travaux effectués sur le sujet. La réalisation simultanée de plusieurs tâches qui semble si évidente au quotidien, comme le fait de discuter avec un passager tout en conduisant, reflète en réalité la mise en œuvre rapide et simultanée de mécanismes cognitifs complexes.

Le modèle des ressources attentionnelles

Kahneman (1973) développe un modèle de distribution des ressources entre les différentes activités mentales sollicitant le système cognitif (voir fig. 3). L'attention est conçue comme un réservoir limité de ressources attentionnelles susceptibles d'être investies en plus ou moins grande quantité dans les diverses opérations mentales effectuées par le système de traitement. La quantité de ressources mobilisées est déterminée par le niveau d'activation des informations qui dépend de l'activité, des intentions du sujet et des ressources disponibles. On retrouve là une idée précédemment évoquée dans le cadre de la construction de la représentation mentale de la situation : l'intensité et la quantité d'effort correspondant à la tâche dépendent à la fois des exigences de la tâche et des connaissances de l'individu. De plus, ce modèle prévoit l'existence d'une capacité de réserve disponible pour la réalisation d'une tâche secondaire, dont la taille varie également en fonction des exigences de la tâche principale et des connaissances de l'individu. Si la tâche principale mobilise une grande quantité de ressources et que l'individu a peu de connaissances sur la tâche, la capacité de réserve s'amenuise rapidement. Dans son modèle, Kahneman (1973) intègre une instance de gestion des ressources dont le rôle est de déterminer le niveau de priorité des différentes informations. Certaines tâches deviennent alors prioritaires, et d'autres sont « mises en attente ». Les capacités du système étant limitées, deux tâches complexes ne peuvent être réalisées en même temps sans que la performance de l'une d'elles ne soit détériorée.

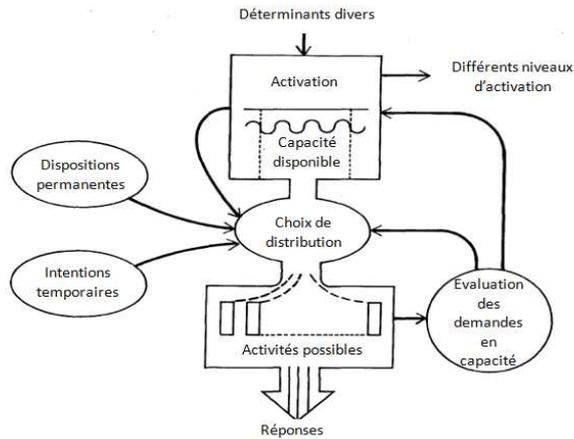


Figure 3. Schématisation du modèle de Kahneman (extrait de Kahneman, 1973)

Quelques années plus tard, Norman et Bobrow (1975) opérationnalisent cette théorie en analysant l'impact de l'exécution simultanée de deux tâches sur la performance en fonction de l'investissement attentionnel. Lors d'une double tâche, les ressources attentionnelles sont partagées, ce qui entraîne une chute des performances comparativement à la réalisation séparée de chacune des tâches. L'interférence de la tâche secondaire sur la tâche principale dépend de la quantité de ressources nécessaires à la réalisation de la tâche principale. Plus l'investissement attentionnel dans la tâche principale est important, plus la performance à la tâche secondaire est dégradée. Toutefois, si une des deux tâches ne nécessite pas ou que peu d'investissement attentionnel, les performances ne chutent dans aucune tâche. Ces résultats sont interprétés en termes de limitation des ressources du système cognitif. La chute des performances est prédite lorsque la quantité de ressources mobilisées pour mener à bien la tâche excède la quantité de ressources disponibles chez l'individu.

Modèle des ressources multiples

Une des théories alternatives à celle de Kahneman (1973) est le modèle des ressources multiples qui postule l'existence d'une multitude de réservoirs attentionnels (Wickens, 1984, 2002). Fondé sur la notion de compatibilité cognitive entre les traitements, il permet d'expliquer la variabilité de l'interférence produite lors de la réalisation simultanée de plusieurs tâches et a pour ambition de prédire les performances (Wickens, 2008). Sur la base de travaux expérimentaux, Wickens (ibid.) postule qu'il n'existe non pas un réservoir attentionnel unique, mais une multitude de réservoirs de ressources caractérisés par 4 facteurs : le code utilisé (spatial vs verbal), la modalité sensorielle impliquée (vision vs audition), l'étape du traitement de l'information (encodage vs traitement vs

réponse) et le mode de réponse (moteur vs vocal) (voir fig. 4). Le niveau d'interférence est plus ou moins élevé en fonction des réservoirs sollicités par chacune des tâches : par exemple, deux tâches visuelles réalisées simultanément interfèrent plus qu'une tâche visuelle et une tâche auditive. L'interférence est donc plus grande lorsque les traitements simultanés de deux tâches font appel au même réservoir de ressources que lorsque chacun des traitements fait appel à un réservoir différent.

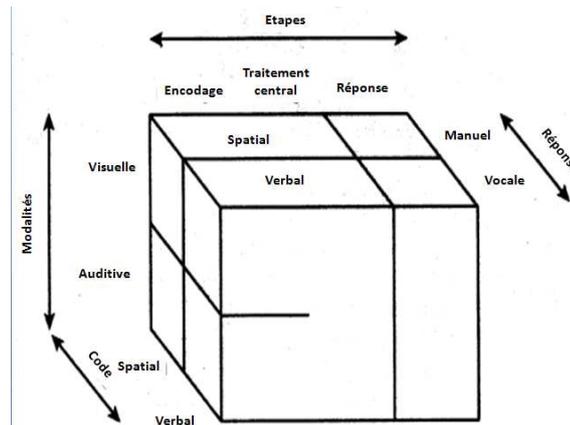


Figure 4. Schématisation du modèle des réservoirs multiples (Extrait de Wickens, 2002)

En résumé, les modèles des ressources (Kahneman, 1973 ; Wickens 1984, 2002) viennent en complément des modèles structuraux (Broadbent 1958 ; Deutsh et Deutsh, 1963 ; Treisman, 1969, *ibid.*) et il est essentiel d'intégrer les considérations de l'ensemble de ces modèles pour tenter de rendre compte de la complexité du traitement de l'information effectué par l'individu. Les modèles structuraux et les modèles de ressources postulent un effet d'interférence lors de la réalisation simultanée de deux tâches : l'interférence se produit quand le même mécanisme est sollicité pour la réalisation simultanée de deux tâches dans les modèles structuraux (Broadbent, *ibid.* ; Treisman, *ibid.*) alors que dans le modèle de distribution de ressources (Kahneman, *ibid.*), elle se produit quand les exigences de la double-tâche excèdent les ressources disponibles de l'organisme. Dans les modèles du filtre attentionnel (Broadbent, *ibid.* ; Deutsh et Deutsh, 1963, *ibid.* ; Treisman, 1969, *ibid.*), l'interférence est spécifique puisqu'elle dépend de la mesure dans laquelle les deux tâches utilisent le même mécanisme alors que dans le modèle de la capacité (Kahneman, *ibid.* ; Norman et Bobrow, *ibid.*) l'interférence est non spécifique et est tributaire de la somme des exigences mentales de la tâche. Le modèle de Wickens (*ibid.*) a pour avantage d'intégrer à la fois la notion de mécanisme via la présence de différents registres et celle de capacités via la notion de ressources limitées. Il est pertinent dans la mesure où il permet de prédire et d'expliquer la chute de

performance lors de la réalisation d'une double tâche. De plus il est particulièrement utilisé pour la compréhension de l'activité de conduite (Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007) et a pour avantage d'identifier de manière précise les facteurs susceptibles de produire une interférence. Toutefois il reste à un niveau descriptif et global et ne rend pas compte de la distinction entre processus automatiques et contrôlés dans la réalisation d'une double tâche.

Automatismes vs contrôle

La distinction entre processus automatiques et processus contrôlés introduite par Schneider et Shiffrin (1977) renseigne sur la quantité de ressources investies dans la tâche et le niveau d'effort mental ressenti par l'individu en fonction de la nature des processus investis dans la tâche. Certaines tâches sont tellement routinières qu'elles n'exigent qu'une quantité minimale de ressources pour être réalisées alors que d'autres exigent un effort mental important. Les tâches routinières font appel à des processus automatiques qui ont pour avantage d'être rapides et peu coûteux en ressources. Amalberti (2001a) qualifie l'automatisation des compétences comme « la solution la plus générale au problème de la limitation des ressources ». Le traitement automatique ne nécessite pas d'effort puisqu'il est de nature non-consciente. Dans la limite des ressources disponibles, un autre traitement peut être réalisé en parallèle sans difficulté. Cependant, il est très difficile d'inhiber ou de stopper un traitement automatique en cours d'exécution. De plus, sans investissement de ressources attentionnelles, il existe un risque important de faire une erreur dans le traitement de l'information. A l'inverse, d'autres tâches nécessitent un fort investissement en ressources attentionnelles et un effort mental important. C'est le cas des tâches mobilisant des processus contrôlés dont la caractéristique est d'être plus lent et de mobiliser un grand nombre de ressources attentionnelles. Les processus contrôlés nécessitent un effort conscient de la part de l'individu et peuvent donc être interrompus à tout moment. Si un autre traitement doit être réalisé lors de la mobilisation de processus contrôlés, celui-ci sera réalisé séquentiellement et non simultanément.

Cette distinction claire fut par la suite envisagée sous forme d'un continuum allant de l'automatisation au contrôle de l'activité (Cohen, Servan-Schreiber et McClelland, 1992). La vitesse de traitement et l'interférence liée à la réalisation d'une tâche secondaire sont deux mesures permettant de situer une activité sur ce continuum.

Les concepts d'automatisme et de contrôle de l'activité sont pertinents pour rendre compte de l'apprentissage et de l'acquisition d'expérience. Une tâche peu familière va nécessiter un effort

mental important et un contrôle attentionnel volontaire. Avec la pratique et l'expérience, cette tâche devient de plus en plus routinière et exige de moins en moins de ressources attentionnelles puisqu'elle est traitée automatiquement. Une compétence automatique s'active sans intention, ne provoque pas de prise de conscience et n'interfère pas avec d'autres activités mentales (Posner et Snyder, 1975). Par conséquent, le niveau d'automatisme ou de contrôle des processus impliqués dans la tâche permet d'expliquer comment se distribuent les ressources attentionnelles lors d'une tâche d'attention divisée. Par exemple, l'allongement du temps de réponse et l'augmentation de l'interférence lors de la réalisation d'une double tâche pour un novice traduisent un manque d'automatisation des compétences nécessaires à la réalisation de la tâche.

L'ensemble des processus attentionnels (orientation, sélection, partage) ainsi que les notions d'automatisme et de contrôle de l'activité sont pris en compte au sein du modèle du contrôle attentionnel (Norman et Shallice, 1980, 1986, cité par Cooper et Shallice, 2000).

2.4. Le contrôle attentionnel

Le modèle du contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1980, 1986, cités par Cooper et Shallice, 2000) envisage à la fois l'existence de modules séparés de traitement et celle d'une instance de contrôle dont l'objectif est de distribuer les ressources et de coordonner les actions en sélectionnant les plus pertinentes pour la tâche (voir fig. 5). Ce modèle suggère que l'activité peut être réalisée selon deux modes différents : l'un automatique, l'autre contrôlé. La majorité des opérations de traitements de l'information est réalisée de manière automatique et parallèle, sans contrôle attentionnel et ne nécessite que peu ou pas de ressources cognitives. Les opérations de traitement sont stockées en mémoire sous forme de programmes acquis par l'expérience, nommés schémas (ou modules). Ces derniers sont définis comme des unités de connaissance qui contrôlent l'enchaînement des actions. Le contrôle cognitif est assuré via l'activation et l'inhibition des schémas en compétition. Les schémas peuvent être déclenchés automatiquement, c'est-à-dire lors de la perception d'un signal approprié, ou de manière contrôlée, lorsque l'individu poursuit volontairement un objectif. Une fois déclenché, le schéma d'action est opérant jusqu'à la fin de la tâche ou jusqu'à ce que l'activation d'un autre schéma l'inhibe. Norman et Shallice (ibid.) incluent également dans leur modèle un système attentionnel de supervision (SAS) qui intervient dans toutes les situations où les automatismes ne peuvent pas être mis en place, par exemple lors d'un événement soudain ou nouveau dans la procédure. Le SAS gère les activités de planification

consciente et délibérée des actions dans toutes les situations nouvelles. Ce modèle a pour avantage de spécifier comment les schémas d'actions sont activés ou inhibés selon la nature habituelle ou non de la situation.

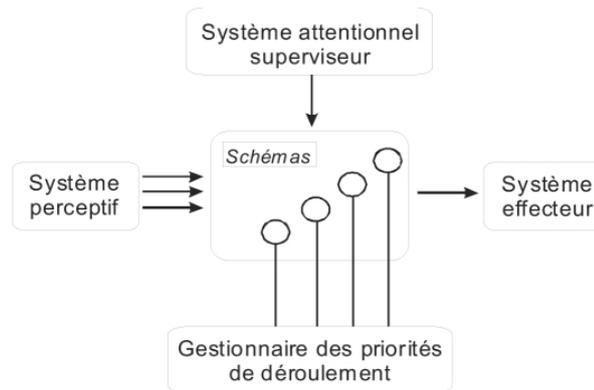


Figure 5. Schématisation du modèle du contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1986) (extrait d'Enquête INSERM/IFSTTAR, 2011)

Les recherches montrant que les patients cérébro-lésés présentent des déficits du fonctionnement exécutif, notamment lors d'une tâche d'attention divisée, suggèrent que le SAS est impliqué dans les réseaux du cortex préfrontal (Andres, 2001 ; Burgess, 1996 ; Mc Dowell, Whyte et D'Esposito, 1997 ; Rousseaux, Godefroy, Cabaret, Benaim et Pruvo, 1996 ; Van Zomerén et Van den Burg, 1985). D'autre part, les processus attentionnels mobilisent un ensemble d'aires corticales largement distribuées et impliquant entre autres des activations du cortex frontal (Laberge, 1995 ; Laberge, Auclair et Sieroff, 2000). Les résultats de ces travaux en neuroscience sont importants pour éclairer notre problématique centrée autour des jeunes conducteurs puisque les recherches indiquent que le cortex préfrontal, impliqué entre autres dans la planification de l'action et la gestion des priorités, ne serait pas totalement développé à l'âge où un grand nombre de jeunes obtiennent leur permis (18ans) (Glendon, 2011).

En résumé, l'activité de conduite automobile exige la mise en place de processus attentionnels impliquant une orientation de l'attention, une sélection des informations pertinentes, ainsi qu'un partage des ressources entre les différentes tâches. Nous nous centrerons particulièrement sur ce dernier aspect dans ce travail. La théorie de la capacité de Kahneman (1973) considère l'attention comme un réservoir de ressources et non plus comme un simple mécanisme de filtrage. Cette théorie a été opérationnalisée dans de nombreuses expérimentations à l'aide d'un protocole de

double tâche. L'idée d'un réservoir de ressources unique a évolué vers celle d'une multiplicité de réservoirs (Wickens, 1984, 2002) dont l'avantage est de permettre la description de l'interférence relative entre deux tâches en fonction des propriétés communes partagées. Outre les propriétés de la tâche, des caractéristiques intra individuelles comme le niveau d'expertise influencent également les performances à travers l'automatisation des compétences (Schneider et Shiffrin, 1977). En conclusion, la diversité des modèles théoriques de l'attention, et plus particulièrement de ceux ayant pour objet le partage des ressources attentionnelles autorise la manipulation expérimentale des processus attentionnels ainsi que leurs descriptions quantitatives (Couillet *et al*, 2002).

3. Le contrôle de l'activité

La psychologie cognitive considère depuis longtemps l'étude des défaillances, des erreurs et des processus mis en œuvre par les novices dans un domaine, comme un mode d'accès privilégié pour comprendre les mécanismes cognitifs complexes comme le contrôle cognitif. Ce dernier a été défini comme « toute activité de supervision, interne à la cognition, dont l'objectif est d'assurer et de vérifier le bon usage des capacités cognitives, aussi bien en terme d'intensité que d'ordonnement dans le temps, afin d'atteindre le ou les objectifs visés par le sujet » (Amalberti, 2001a, p107). L'intérêt des chercheurs pour le contrôle cognitif s'est illustré à travers l'étude de la maîtrise des situations dynamiques variées comme le diagnostic médical, la conduite de hauts fourneaux, ou encore l'analyse de l'activité du pilote de chasse et du conducteur automobile (Amalberti, *ibid*)

3.1. Le modèle SRK (Skills-Rules-Knowledge)

Un des modèles du contrôle cognitif le plus connu est le modèle SRK (Skills-Rules-Knowledge) de Rasmussen (1986) qui envisage trois niveaux hiérarchiques (voir fig. 6).

- Le contrôle par les compétences (skills) concerne l'exécution de tâches familières et routinières qui font appel à des automatismes c'est-à-dire qui ne requièrent que peu ou pas de contrôle attentionnel. Les connaissances mises en œuvre sont implicites et non verbalisables. L'expert se situe donc le plus souvent à ce niveau de contrôle et les erreurs susceptibles de se produire sont des erreurs de routines.
- Le contrôle par les règles (rules) est caractérisé par l'utilisation de règles et de procédures préalablement acquises à travers l'expérience, ou transmises par un instructeur. Ce niveau de contrôle est mis en place lorsque l'individu se trouve dans une situation peu familière. Il mobilise peu de ressources attentionnelles mais exige cependant la connaissance des règles et de leur indexation. Certaines règles peuvent toutefois s'enchaîner automatiquement.
- Le contrôle par les connaissances (knowledge) nécessite un contrôle attentionnel pas à pas lors de la réalisation d'une tâche et consomme donc une grande partie des ressources attentionnelles. Ces comportements sont exercés lorsqu'un individu rencontre une situation nouvelle et qu'il ne dispose pas de règles existantes pour gérer cette situation.

Le postulat de ce modèle réside dans l'économie cognitive, à savoir que si l'individu dispose des compétences pour répondre à la situation, celles-ci seront automatiquement mises en œuvre dans le contexte donné. Dans le cas où il ne dispose pas immédiatement de la solution ou bien si un événement vient perturber l'exécution du programme d'actions en cours, il va devoir identifier l'état du système pour rechercher en mémoire l'existence d'une règle permettant de répondre à la situation. Si cette règle existe, elle est exécutée sous forme de procédure et il retourne à un niveau de contrôle par les compétences. Par contre, si la règle n'est pas trouvée ou n'existe pas, il va devoir identifier et interpréter l'état de système en élaborant des hypothèses à partir de ses connaissances. Par conséquent, différents chemins plus ou moins courts, plus ou moins rapides, permettent d'aboutir à l'exécution d'une action. Cette idée est illustrée dans le schéma de la double échelle (Rasmussen, 1986).

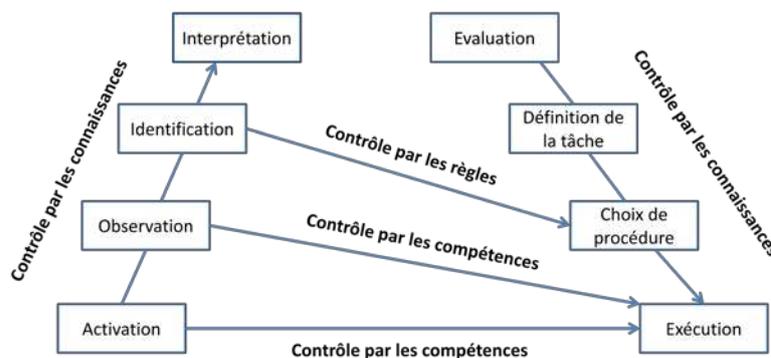


Figure 6. Schématisation du modèle S-R-K de Rasmussen (1986)

Ce modèle a pour avantage d'expliquer l'évolution des performances en fonction du degré de la familiarité avec la tâche. Il est d'ailleurs très largement utilisé dans le domaine de la conduite automobile pour expliquer la diversité des performances en fonction de l'expérience du conducteur.

L'analyse des erreurs

L'analyse des erreurs en lien avec le niveau de contrôle qui les a engendrées a permis de distinguer les erreurs provenant du contrôle par les automatismes, les erreurs se référant au contrôle par les règles et celles au contrôle par les connaissances (Reason, 2013 ; Reason, Manstead, Stradling, Baxter et Cambell, 1990).

- Les erreurs liées au contrôle par les automatismes : ce sont des ratés de l'attention, des erreurs de routines (slips). L'intention est correcte mais un raté s'est produit dans le

processus d'exécution de la réponse. Par exemple, lorsqu'un conducteur distrait dépasse de manière non intentionnelle la limitation de vitesse autorisée. Ces erreurs sont facilement détectées et corrigées.

- Les erreurs liées au contrôle par les règles : ce sont des erreurs se produisant à partir d'une intention incorrecte qui engendre une séquence d'actions inadaptées à la situation (mistakes). Par exemple, tenter de doubler un véhicule dans des conditions de faible visibilité.
- Les erreurs liées au contrôle par les connaissances : ce sont des erreurs dues à une représentation inadéquate de la situation ou à un transfert d'une connaissance non pertinente.

A ces erreurs de traitement de l'information viennent s'ajouter les violations qui sont définies comme des transgressions délibérées d'une règle imposée. Par exemple, « griller » intentionnellement un feu rouge. Ce dernier type d'erreur se différencie des slips et mistakes par son caractère intentionnel. Les slips et mistakes traduisent par conséquent un dysfonctionnement d'origine perceptive ou cognitive alors que les violations se réfèrent à un comportement délibéré de non-respect d'une règle connue. Cette classification de l'erreur humaine (slips, mistakes et violations) a notamment été utilisée dans l'élaboration du Driving Behaviour Questionnaire pour tenter de décrire, comprendre et évaluer les différents comportements du conducteur (Reason *et al*, *ibid.*). Dans ce contexte, les slips et les mistakes reflètent les compétences de conduite alors que les violations font référence au style de conduite (Evans, 2004).

La classification des erreurs humaines en lien avec le niveau de contrôle a pour avantage de rendre compte de l'acquisition et du développement des compétences sur la base des relations existant entre la formation des connaissances et le développement de processus d'automatisation. Toutefois, seul le caractère réactif de l'individu face aux stimuli de l'environnement est envisagé. Or, une des caractéristiques essentielle du système cognitif réside dans sa capacité d'anticipation (Hoc et Amalberti, 2007).

3.2. Le contrôle cognitif

Les situations dynamiques sont caractérisées par une évolution de la situation indépendamment des actions de l'opérateur, qui ne peut alors exercer qu'un contrôle partiel sur la situation. De plus, un

degré élevé d'incertitude et de risque est associé à ces situations qui impliquent un partage de temps entre plusieurs tâches, dont la source peut être exogène ou endogène. La maîtrise de situations dynamiques se fonde sur le concept d'optimalité du fonctionnement cognitif qui se décline en termes de compromis permettant d'atteindre les objectifs fixés avec une performance suffisante (Amalberti, 2001b). Le réglage de ce compromis repose sur trois notions centrales : l'adaptation dynamique, la suffisance, et la métacognition. Les situations dynamiques exigent une adaptation permanente de l'individu à l'environnement ainsi qu'un ajustement du contrôle cognitif aux caractéristiques de la situation rencontrée (Amalberti, *ibid.* ; Hoc et Amalberti, 2007). Ces ajustements traduisent une variabilité de la performance au cours du temps, mais ils visent tout de même à une échéance donnée, un niveau de performance suffisant pour un coût cognitif et physiologique acceptable. La suffisance est alors envisagée comme une réponse adaptée à l'environnement apportant une satisfaction subjective à l'opérateur, compte tenu de ses buts, du contexte et de ses connaissances. Le compromis cognitif consiste donc à régler les performances de l'individu à un niveau sous optimal, mais encore suffisant pour répondre aux exigences de la situation afin de préserver une capacité d'activité parallèle et un travail efficace dans la durée. L'élaboration du compromis cognitif se fait sur la base d'une représentation occurrente qui active un réseau de connaissances. La représentation occurrente dans les modèles du contrôle cognitif renvoie aux représentations mentales liées à la conscience de la situation. Les connaissances activées par la représentation occurrente sont en partie sub-symboliques (automatiques) et peuvent elles mêmes être à l'origine de l'enclenchement d'une séquence d'actions routinières (voir fig. 7).

Une bonne gestion du compromis cognitif consiste donc à répartir de manière adéquate le contrôle de l'activité entre des processus contrôlés (ou symboliques) très coûteux et des processus automatiques (ou sub-symboliques) peu coûteux. La mise en place de ce compromis cognitif nécessite donc l'évaluation des risques internes (liés aux compétences de l'opérateur) et externes (liés aux exigences de la situation) afin d'aboutir à un équilibre permettant à l'opérateur de gérer la situation de manière sûre tout en préservant des ressources cognitives dans le cas où un événement inattendu se produit. Ces différents ajustements des capacités cognitives aux contraintes de la situation exigent que l'individu possède un savoir sur ses propres savoirs, les métaconnaissances. L'expertise se définit alors plus comme un meilleur ajustement des capacités cognitives individuelles aux exigences d'une situation, dû à la création de métaconnaissances, que comme un ensemble de connaissances exhaustives dans un domaine donné. Dans un système complexe et dynamique, l'individu ne possède jamais toutes les connaissances sur le fonctionnement du système, il doit donc en être conscient et savoir tenir compte de ses limites.

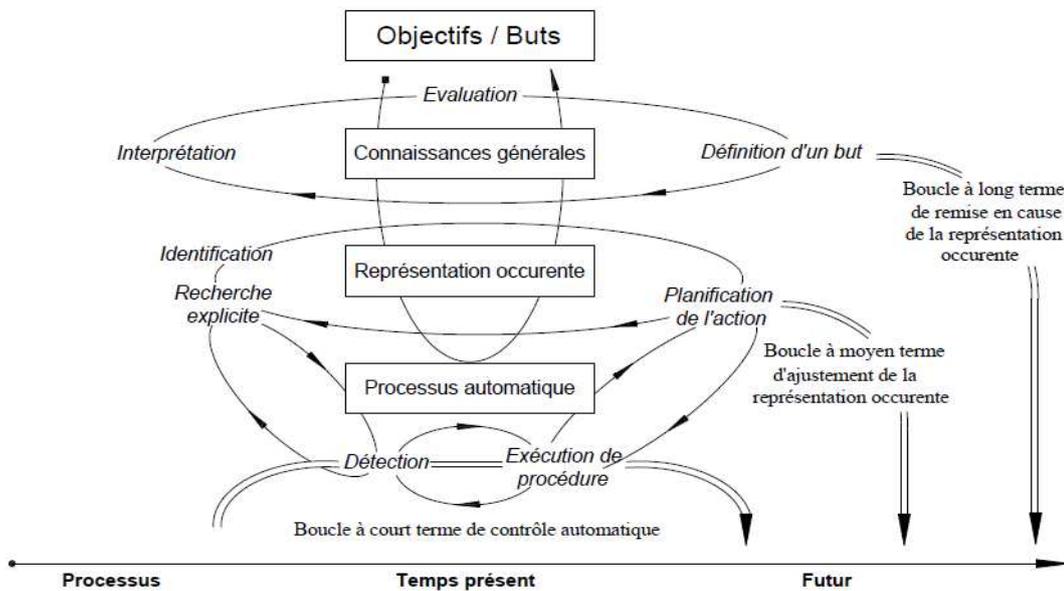


Figure 7. Représentation schématique du compromis cognitif selon Hoc et Amalberti (1994).

Les modèles du contrôle de l'activité reposent sur l'idée que ce dernier n'est pas lié à un module supérieur qui générerait l'activité en tout point, mais serait plutôt la résultante de la mise en jeu de plusieurs mécanismes à différents niveaux de traitement de l'information. Ces mécanismes ont pour objectif de maintenir un système dynamique dans un état stable en privilégiant le niveau de contrôle par les automatismes (Rasmussen, 1986) et en visant un compromis cognitif à l'aide des compétences métacognitives (Amalberti, 2001 ; Hoc et Amalberti, 2003, 2007). D'après ces modèles, l'expérience tend à automatiser les tâches habituelles et à favoriser l'anticipation des risques.

4 : Une population spécifique : les jeunes conducteurs novices

Notre population d'étude, les jeunes conducteurs, est spécifique dans le sens où d'une part, ils sont en grande partie encore novices, et d'autre part, ils sont susceptibles d'adopter des comportements risqués. Un manque de compétence ajouté à une prise de risques excessive entraîne une augmentation du risque d'accident. Ce chapitre définit dans un premier temps la notion de jeunes conducteurs novices en différenciant les facteurs liés à l'âge de ceux liés à l'inexpérience de conduite. Une brève description du système de formation à la conduite en vigueur en France est ensuite effectuée. La seconde partie de ce chapitre est consacrée aux caractéristiques des jeunes conducteurs novices en détaillant les diverses compétences spécifiques à la conduite et en présentant la fonction sociale que peut entretenir un véhicule, notamment chez les jeunes.

4.1. Les « jeunes conducteurs novices »

Si l'on se reporte aux nombreux travaux de la littérature sur les jeunes conducteurs, leur âge varie considérablement, de 16 ans à 24 ans en moyenne, selon les auteurs et la législation du pays en vigueur. Par exemple, aux Etats-Unis, les recherches concernent principalement des jeunes de 16 à 19 ans, puisque la législation leur permet d'obtenir le permis dès l'âge de 16 ans, tandis qu'en Europe, les études se centrent principalement sur les jeunes de 18 à 24 ans. Or à 24 ans, un conducteur peut avoir quasiment 6 ans d'expérience de conduite et conduit plus 60000 km. Il apparaît difficile dans ces conditions de pouvoir le qualifier de novice. Dans ce cas, quelles connaissances et compétences doivent-elles être acquises pour être qualifié d'expérimenté ? Doit-on envisager cela en termes d'années de pratique ? Ou encore de kilomètres parcourus ? Ou bien en termes de compétences nécessaires pour acquérir une conduite sécuritaire ?

Age et Expérience de conduite

Dès lors que l'on s'intéresse au déterminisme des accidents de la route des jeunes conducteurs, la contribution relative des facteurs liés à l'âge et à l'expérience de conduite est une question complexe dans la mesure où l'influence respective de ces facteurs est confondue (Dupont, Martensen et Silverans, 2010 ; Engström, Gregersen, Hernetkoski, Keskinen et Nyberg, 2003 ; McCartt, Mayhew, Braitman, Ferguson et Simpson, 2009). En effet, une grande partie des

recherches compare le comportement de jeunes conducteurs novices à celui de conducteurs expérimentés plus âgés rendant l'interprétation du comportement de conduite et l'attribution des performances –ou du manque de performance– au facteur « âge » ou « expérience » difficile.

Dans leur revue de littérature, McCartt *et al* (2009) ont recensé 11 recherches étudiant conjointement les effets de l'âge et de l'expérience. Ces recherches démontrent des effets indépendants des deux facteurs sur le taux d'accidents. D'une part, le style de vie des jeunes conducteurs contribue à augmenter le risque d'accidents et de blessures en comparaison aux conducteurs plus âgés, même en tenant compte de l'expérience de conduite que ce soit en termes d'années ou de kilomètres parcourus (Clarke, Ward, Bartle et Truman 2006 ; Mayhew, Simpson et Pak, 2003 ; Williams et Shabanova, 2003). La réduction du risque d'accident avec l'âge est en partie liée à l'adoption de comportements sociaux à responsabilités comme le fait d'être en couple, d'avoir des enfants (Begg et Langley, 2001 ; Bingham, Shope, Parow et Ragnathan 2009 ; Deery, 1999). Les facteurs liés à l'âge sont donc des déterminants majeurs du risque d'accidents des jeunes conducteurs. D'autre part un bénéfice important de l'expérience de conduite a été mis en évidence dans la mesure où une réduction du nombre d'accidents est constatée dès les premiers mois suivant l'obtention du permis et se poursuit au cours des deux années suivantes : celle-ci est de 50% au cours des 8 premiers mois de conduite (Sagberg, 2000, cité par OCDE, 2006). Ce résultat se confirme lorsque l'expérience est mesurée en termes de kilomètres parcourus. Le risque d'accident est plus élevé durant les 2500 premiers kilomètres parcourus (Slootmans, Dupont et Silverans, 2011) et notamment les 800 premiers kilomètres que par la suite (McCartt, Shabanova et Leaf, 2003). Cette diminution du risque d'accidents dans la période suivant l'acquisition du permis de conduire est si rapide que selon certains auteurs elle ne peut pas être expliquée par des facteurs liés à l'âge (Maycock, 2002, cité par OCDE, 2006 ; Shinar, 2007). Le manque d'expérience est donc une cause majeure du risque d'accident de la route pour les conducteurs novices.

Au vu de ces résultats, il semble très difficile de séparer les effets liés à l'âge de ceux liés à l'expérience de conduite puisque c'est précisément dans leur interaction que réside l'origine de la surreprésentation des jeunes conducteurs novices dans les accidents de la route. D'ailleurs les recherches indiquent que la part relative des facteurs liés à l'âge et à l'expérience varie d'une étude à l'autre. Cependant, en général l'influence de l'expérience de conduite serait plus importante que celle des facteurs liés à l'âge (Laberge-Nadeau, Maag et Bourbeau, 1992). Selon les études, les facteurs liés à l'âge expliquent 30 à 50% de la diminution des accidents, contre 50 à 70% pour l'expérience (Engström *et al*, 2003).

Le système français d'apprentissage à la conduite

De manière générale, en France, deux systèmes de formation sont proposés en vue de l'obtention du permis de conduire. Le système de formation le plus commun est appelé « apprentissage traditionnel » (AT). Il peut débuter dès l'âge de 16 ans et comprend une formation théorique avec un examen (code), suivie de 20 heures de formation pratique dans une auto-école sous guidage d'un moniteur expert. Le conducteur doit avoir 18 ans pour passer l'examen final pratique. Ce système est considéré comme le système de formation le plus classique pour l'obtention du permis de conduire de catégorie B. Le second système d'apprentissage appelé « apprentissage anticipé de la conduite » (AAC) peut débuter dès l'âge de 16 ans. Il nécessite également l'obtention d'un examen théorique, suivi d'une formation pratique de 20 heures avec un moniteur expert. A la différence de l'apprentissage traditionnel, l'apprenti-conducteur doit ensuite conduire au minimum 3000 km avec un accompagnateur ce qui lui permet d'acquérir une expérience supplémentaire dans des conditions de circulation variées, avant le passage des épreuves pratiques et l'obtention du permis de conduire à 18 ans. Durant le temps de l'apprentissage avec un accompagnateur, le jeune apprenti est soumis à une limitation de vitesse (110 km/h sur l'autoroute et 80 km/h sur la route). Ce type d'apprentissage prévoit également des rencontres pédagogiques entre l'enseignant formateur, l'élève et l'accompagnateur (le plus souvent un parent). Ainsi, l'apprentissage anticipé s'inscrit dans le cadre d'un accès graduel à la conduite automobile visant l'amélioration de la formation des conducteurs, et plus largement de la sécurité routière. Ce système de formation s'est modernisé récemment en proposant de nouvelles offres comme la conduite supervisée ou la conduite encadrée. La conduite supervisée s'adresse aux jeunes déjà majeurs qui souhaitent acquérir un gain d'expérience auprès d'un accompagnateur avant l'obtention du permis de conduire, et la conduite encadrée est proposée aux jeunes qui souhaitent s'orienter vers un métier du transport. ¹

En France, l'idée du permis de conduire obtenu à vie a été révolue par la mise en place d'un permis à points dont le retrait est indexé sur la gravité des infractions commises par le conducteur contrevenant. De plus, depuis le 1^{er} mars 2004, la mise en place du permis probatoire prévoit un capital initial de 6 points attribué au conducteur lors de l'obtention de son permis de conduire. A l'issue d'une période de 3 ans, s'il n'a pas commis d'infraction entraînant une perte de points, un capital total de 12 points lui est attribué. Cette période est réduite à 2 ans si le conducteur s'est

¹ Dans ce travail, nous nous intéresserons uniquement aux différences entre apprentissage traditionnel de la conduite et apprentissage anticipé. En effet, les autres offres de formation, mises en place très récemment visaient un effectif de population encore trop réduit.

engagé dans l'apprentissage anticipé de la conduite pendant son programme de formation. Durant cette période dite de permis probatoire, le conducteur est soumis à une réglementation de la vitesse, inférieure à celle à la réglementation générale. Ce n'est qu'ensuite qu'il ne sera plus qualifié d'apprenti.

Bénéfices de l'apprentissage anticipé de la conduite ?

Après une période expérimentale, l'apprentissage anticipé de la conduite a été généralisé en France en 1989. Dès 1990, Belloc et Ivaldi (cités par Torres et Gauthier, 2001) comparent, à l'issue de la première année de conduite, le risque accidentel des jeunes conducteurs ayant ou non opté pour l'apprentissage anticipé à la conduite (AAC). Le taux d'implication des conducteurs ayant suivi un AAC dans un accident de la route, serait comparable à celui des conducteurs âgés de 30 ans. Ce résultat relativement ancien est à prendre avec précaution si l'on considère la rapidité avec laquelle cette recherche a été mise en place suite à la phase expérimentale. De plus l'interprétation des résultats semble confuse dans la mesure où elle se base sur la comparaison de deux facteurs confondus, l'expérience et l'âge. D'autres recherches ont tenté de clarifier ces résultats mais les effets bénéfiques de l'apprentissage anticipé sur la sinistralité routière n'ont jusqu'alors pas été démontrés clairement. En effet, bien que l'acquisition d'expérience supplémentaire durant l'AAC apparaisse comme un gage de sécurité, les études visant à évaluer son efficacité aboutissent à des résultats très divergents. Page, Ouimet et Cuny (2004) comparent le risque d'accidents des jeunes conducteurs en fonction de leur formation et concluent qu'elle n'affecte ni la probabilité d'être impliqué dans un accident ni celle de commettre un excès de vitesse. Toutefois, quand les résultats sont analysés plus précisément en incluant l'âge des conducteurs, les jeunes conducteurs âgés de 18 ans et ayant suivi un AT sont légèrement sur-impliqués dans les infractions à la vitesse par rapport aux jeunes du même âge ayant suivi un AAC. Une recherche a démontré un effet positif de l'AAC mais seulement à court terme : le bénéfice de l'AAC en termes d'implication dans un accident de la route se retrouve durant les deux premières années mais disparaît ensuite, dès la troisième année d'expérience (Bontemps, Lagadec et Page, 1993, cités par Page *et al*, 2004). Plus récemment le comportement de jeunes conducteurs à la fois au Québec et dans la région Grand Ouest de la France a été comparé (Torres et Gauthier, 2001, 2005). Ces recherches basées sur des réponses auto-rapportées à un questionnaire et sur le comportement observé lors de séances de conduite ne mettent pas en évidence d'effet bénéfique de l'AAC sur le taux auto-rapporté d'accidents ou la prise de risques évaluée lors des sessions pratiques de conduite. Toutefois, les conducteurs se distinguent sur leur capacité à percevoir, comprendre et à se représenter le risque routier. Les jeunes conducteurs

ayant suivi un AAC sont plus aptes à décrire les difficultés rencontrées dans une scène routière que ceux ayant suivi un AT. Il semble que le suivi pédagogique proposé et la diversité des situations rencontrées pendant l'AAC aient sensibilisé les jeunes conducteurs aux risques routiers. En effet, alors qu'il est impossible de distinguer les conducteurs AT et AAC en fonction du type d'accidents rapportés et des défaillances à l'origine de ces accidents, les conducteurs AAC sont tout de même plus aptes à expliquer leur accident et à reconnaître leur responsabilité que ceux ayant suivi un AT. Enfin, à notre connaissance, seule une recherche expérimentale évalue l'impact de la formation initiale sur le comportement de conduite des novices (Damn, Nachtergaële, Meskali et Berthelon, 2011). Les conducteurs novices ayant suivi un AT ou un AAC sont confrontés à des simulations de scénarios prototypiques d'accidents. Aucune différence significative du temps de réaction face à un obstacle n'a été observée entre les deux groupes. Toutefois, les novices ayant suivi un AAC semblent adopter un style plus sécuritaire et avoir un taux de collisions moins élevé que ceux ayant suivi l'AT. Par ailleurs, d'autres auteurs s'accordent sur le fait qu'outre la formation initiale du conducteur, de multiples facteurs influencent le comportement de conduite et par conséquent le risque d'accident. Parmi eux, l'exposition au risque semble être un des facteurs essentiels à prendre en compte. En effet, selon Pollet (1995, cité par Torres et Gauthier, 2001) l'accidentalité dépend moins de la formation initiale suivie que de l'exposition à la circulation.

En résumé, 25 ans après la mise en place du système d'AAC, le constat sur l'efficacité et la pertinence de ce dispositif reste mitigé. L'ensemble de ces résultats est interprété en termes d'influence positive de l'AAC à la fois sur le plan cognitif (représentation de la situation élaborée par le conducteur et gestion du danger) et social (responsabilisation). Toutefois, il semble que cette influence ne se traduise pas sur le plan comportemental puisque les recherches échouent à montrer une amélioration nette du comportement des conducteurs ayant suivi l'AAC.

Avant de présenter nos expérimentations, il est maintenant essentiel de revenir sur le fonctionnement cognitif des conducteurs novices et les principales caractéristiques qui les différencient des expérimentés.

4.2. Caractéristiques des jeunes conducteurs novices

Les compétences de conduite

La conduite automobile exige la mise en œuvre simultanée de compétences de base qui font référence à la gestion des commandes et la maîtrise du véhicule et de compétences d'ordre supérieur qui se rapportent à la capacité du conducteur à analyser et interpréter la situation de conduite. De nombreuses compétences motrices, perceptives et cognitives sont mobilisées. Les compétences motrices sont censées être relativement acquises pendant la formation à la conduite. Elles servent de fondement au développement des compétences perceptives et cognitives qui ne sont pas totalement acquises à la sortie de la formation et se développent avec l'expérience.

Les compétences motrices

Les compétences motrices renvoient ici à la capacité à manœuvrer, contrôler et maîtriser le véhicule. Les conducteurs novices ont de moins bonnes compétences motrices que les expérimentés : en particulier, ils ont des difficultés à gérer leur vitesse (Chan *et al*, 2010) et à l'adapter aux diverses situations de circulation (De Craen, Twisk, Hangenziaker, Elffers et Brookhuis, 2008). Ils se retrouvent également en difficulté pour effectuer les différentes étapes d'une manœuvre complexe (Hakamies-Blomqvist, Mynttinen, Backman et Mikkonen, 1999). Les novices ont tendance à se concentrer sur une étape à la fois plutôt que de considérer la manœuvre dans son ensemble. Prenons l'exemple du créneau en conduite automobile : un conducteur novice décomposera la manœuvre en de multiples étapes et exercera un contrôle attentionnel à chacune d'elles (1. Mettre le clignotant, 2. Aligner le véhicule sur le véhicule stationné sur le côté, 3. Placer le rétroviseur à hauteur du phare de la voiture de devant, 4. Braquer le volant jusqu'à ce que la voiture soit alignée avec le phare de la voiture de derrière, 5. Contrebraquer). En revanche, pour un conducteur expérimenté, même si la manœuvre dans son ensemble exige un contrôle de l'attention, les différentes étapes qui la composent seront condensées en une séquence d'actions activée automatiquement. Nous retrouvons ici le principe même de l'expertise sous la forme de connaissances fonctionnelles activées automatiquement dans le contexte donné (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004). L'amélioration des performances avec l'expérience se traduit par l'automatisation des processus mobilisés lors des sous-tâches motrices, qui exigent de moins en moins de ressources attentionnelles. Par exemple, le conducteur expérimenté change les vitesses de façon automatique, alors qu'un contrôle attentionnel est nécessaire aux novices (Shinar, Meir, Ben-Shoham, 1998). Les compétences motrices mobilisent donc une grande partie des ressources cognitives des novices, et par conséquent peu de ressources restent disponibles pour les traitements perceptifs et cognitifs. Les difficultés d'intégration des compétences motrices de la part des novices peuvent donc expliquer, au

moins en partie, la surreprésentation des jeunes conducteurs dans les accidents, notamment les accidents liés à une perte de contrôle du véhicule (OCDE, 2006).

Les compétences perceptives

La mise en place de stratégies d'exploration visuelle et la capacité à détecter un danger sont des compétences perceptives essentielles à l'activité de conduite (Engström *et al*, 2003). En effet, le conducteur doit explorer efficacement l'environnement visuel afin de percevoir et détecter tous les dangers potentiellement présents, ce qui est essentiel dans l'adaptation de la réaction du conducteur aux exigences de la situation.

Stratégie d'exploration visuelle

La capacité du système de traitement de l'information étant limitée, il est impossible pour un conducteur de traiter simultanément l'intégralité des informations présentes dans l'environnement (Rensink, O'Regan et Clark, 1997). Par conséquent il doit principalement surveiller les zones où un danger est le plus susceptible de se produire. Au fur et à mesure de sa pratique, le conducteur va mettre en place de véritables stratégies d'exploration visuelle de la scène routière qui orientent son traitement perceptif et ses actions.

Contrairement à un expérimenté, le conducteur novice présente des difficultés à mettre en œuvre des stratégies d'exploration efficaces qui soient adaptées aux exigences de la situation. Il a tendance à focaliser son regard vers l'avant du véhicule et à négliger les éléments situés en périphérie comme les rétroviseurs (Mourant et Rockwell, 1972, cités par Neboit, 1982). Ces résultats ont été répliqués et montrent une réduction de la zone de balayage visuel, centrée sur l'avant du véhicule et sur les bords de la chaussée (Chapman et Underwood, 1998 ; Falkmer et Gregersen, 2001) ainsi qu'une augmentation de la durée de fixation en périphérie et à l'intérieur de l'habitacle du véhicule (Chan *et al*, 2010 ; Patten, Kircher, Ostlund, Nillson et Svenson, 2006). Ceci témoigne de la difficulté des novices à utiliser les éléments en périphérie pour gérer la position du véhicule sur la voie. Avec l'expérience, les stratégies d'exploration visuelle deviennent plus efficaces et permettent alors d'anticiper les situations dangereuses (Chapman, Underwood et Roberts, 2002 ; Konstanpopoulous, Chapman et Crundall, 2010 ; Shinar, 2008). Les différences de stratégies visuelles entre les novices et les expérimentés sont particulièrement marquées dans les situations complexes (Chapman *et al*, 2002 ; Crundall et Underwood, 1998). Par exemple, seuls les conducteurs expérimentés adaptent leur stratégie d'exploration visuelle en élargissant la zone de balayage lorsque la complexité de

l'environnement augmente (Crundall et Underwood, *ibid.*). De plus, face à une situation complexe, les novices fixent les objets de la scène plus longtemps que les expérimentés (Chapman et Underwood, *ibid.*) et quand les conditions de visibilité sont dégradées comme par exemple lors de la conduite de nuit, ils ne prennent pas en compte les limitations de leur système perceptif et ne mettent pas en place de stratégies compensatoires (Mc Donald, 1994, cité par Hamama, 2010). Enfin, l'acquisition de stratégies d'anticipations visuelles se fait au travers de l'expérience de conduite et/ou d'un entraînement adapté (Chapman *et al*, *ibid.* ; Hamama, 2010). Il existe des pistes intéressantes pour améliorer les stratégies d'exploration visuelle des novices. En effet, Chapman *et al* (*ibid.*) ont montré une nette extension du balayage visuel de la part des novices après les avoir informés de leurs difficultés de recherche visuelle et de la nécessité de scanner l'ensemble des zones de l'environnement.

En résumé, les conducteurs novices fixent en priorité les zones utiles au contrôle de la trajectoire (avant-centre du véhicule) et n'élaborent pas de stratégies de recherche visuelle, ou tout au moins elles ne sont pas aussi efficaces que celles des expérimentés. Ce manque d'organisation et de flexibilité dans la recherche visuelle est à l'origine de l'élaboration de représentations mentales erronées, notamment lorsque les exigences de la situation sont particulièrement fortes (Engström *et al*, 2003). La recherche visuelle limitée, mal organisée et souvent inadaptée aux exigences de la situation peut engendrer des difficultés d'anticipation lorsqu'un danger est présent dans la scène de conduite.

Détection du danger

Les conducteurs novices perçoivent moins de danger (Borowsky, Shinar et Oron-Gilad, 2010) et mettent plus de temps pour le détecter (Mayhew et Simpson, 1995, cités par Engström *et al*, 2003 ; Sagberg et Bjornskau, 2006 ; Scialfa *et al*, 2011) et réagir de façon adaptée (McKenna et Crick, 1991, cités par Deery, 1999). Un danger est défini comme « un évènement ou une situation susceptible d'entraîner des conséquences négatives ou des dommages à l'homme ou l'environnement » (Leplat, 2003). Par conséquent, l'augmentation du temps de détection et de réaction à un danger est un facteur de risque d'accidents (Quimby, Maycock, Carter, Dixon et Wall, 1984, cités par Deery, 1999). Par exemple, contrairement aux conducteurs expérimentés qui traitent préférentiellement les zones de l'environnement où un danger est susceptible de se produire, les novices arrivant à une intersection fixent leur regard droit devant et ne prêtent pas attention aux véhicules susceptibles de surgir d'une autre route (Borowsky *et al*, 2010). De plus, ils restent focalisés sur les éléments superficiels de la scène : ils catégorisent les situations dangereuses sur la

base des caractéristiques physiques de la scène routière, contrairement aux expérimentés qui se basent sur des caractéristiques fonctionnelles, orientées vers un but (Borowsky, Oron-Gilad et Parmet, 2009). Ce résultat témoigne d'une réorganisation des connaissances en mémoire avec l'expérience. Il a aussi été montré que les panneaux de signalisation, généralement situés sur le côté droit de la route sont identifiés plus rapidement par les conducteurs expérimentés que par les novices. Notons que si ces panneaux sont situés dans un emplacement inattendu (sur la gauche de la route), le temps d'identification des expérimentés est dégradé de manière plus prononcée que celui des novices (Borowsky, Shinar et Parmet, 2008). Ces résultats témoignent d'une automatisation des stratégies d'exploration visuelle vers les emplacements pertinents de la scène de conduite mais illustrent également le manque de flexibilité des stratégies des expérimentés lorsqu'elles sont devenues automatiques. En résumé, les stratégies d'exploration de l'environnement se développent avec l'expérience et se manifestent par un balayage visuel plus étendu et efficace en vue de détecter et de réagir rapidement aux dangers potentiels présents dans l'environnement.

Les compétences cognitives

En conduite automobile, de nombreuses compétences cognitives sont mobilisées comme la capacité du conducteur à sélectionner les informations pertinentes, à anticiper les évolutions possibles de la situation et à prendre des décisions en conséquence. A tout moment, le conducteur réalise une évaluation cognitive du niveau de risque de la situation sur la base des dangers perçus et de l'auto-évaluation de ses compétences pour gérer la situation (Brown et Groeger, 1988).

Perception du risque

Le risque est considéré comme la probabilité qu'un événement ou une situation entraîne des conséquences négatives dans des conditions déterminées (Leplat, 2003). La perception du risque correspond à l'estimation cognitive du degré de risque pour la situation donnée et l'acceptation du risque est le seuil de risque que le conducteur est susceptible d'accepter (Deery, 1999). La perception et le niveau d'acceptation du risque sont basés sur la qualité de la détection d'un danger. Les difficultés de détection du danger que nous venons d'évoquer sont susceptibles d'entraîner des problèmes de perception et d'évaluation du risque amenant le conducteur à accepter un niveau de risque trop élevé pour ses compétences.

Tout d'abord, les novices mettent plus de temps que les conducteurs expérimentés pour percevoir les situations potentiellement dangereuses (Finn et Bragg, 1986) et les jeunes conducteurs

perçoivent les situations de conduite comme moins risquées que les conducteurs âgés (Trankle, Gelau et Metker, 1990). De plus, les novices sous-estiment le risque d'accident dans un grand nombre de situations dangereuses. Par exemple, lors d'excès de vitesse, les jeunes conducteurs, et particulièrement les hommes, perçoivent moins le risque d'être personnellement impliqués dans un accident que les conducteurs plus âgés et plus expérimentés. Des résultats similaires sont retrouvés lors de la conduite sous l'influence de substances psycho-actives (Jonah et Dawson, 1987, cités par Page *et al*, 2004). Les jeunes conducteurs situent bien au delà des normes légales les limites à partir desquelles commence le danger sur la route : 1/4 d'entre eux estiment que le danger ne débute qu'au delà de 150 km/h sur autoroute ou après la consommation de 4 verres d'alcool (Michel, Purper-Ouakil et Mouren-Siméoni, 2002). Les conducteurs novices sont donc susceptibles d'accepter un niveau de risque plus élevé que les expérimentés. Or le niveau de risque accepté est un des principaux déterminants du risque d'accident : la faible perception du risque et l'acceptation d'un niveau de risque trop élevé sont susceptibles de contribuer à la surreprésentation des jeunes conducteurs novices dans les accidents de la route. D'autres facteurs comme une recherche de sensations fortes, la présence d'un passager ou encore la fatigue et l'usage de substances psycho-actives réduisent la perception du risque et conduisent à une diminution du seuil d'acceptation du risque.

La perception du risque s'améliorant avec la pratique et l'expérience, les novices souffrent donc d'une situation paradoxale : il semble très difficile d'acquérir les bénéfices liés à l'expérience sans être exposé au risque d'accident. L'entraînement sur simulateur des novices peut être une solution : c'est une opportunité de gagner en expérience sans être exposé aux accidents de la vie réelle (Deery, 1999). L'entraînement sur simulateur des novices semble être particulièrement efficace notamment en ce qui concerne le prélèvement d'informations dans l'environnement et la perception des risques (Gregersen, 1993 ; McKenna et Crick, 1994 ; Marek et Sten, 1997, cités par Deery, *ibid.*).

Biais de perception du risque

L'auto-évaluation appropriée des compétences apparaît donc comme essentielle dans la gestion du risque, toutefois, elle semble être influencée par de nombreux biais (Kouabenan, Cadet, Hermand, et Munoz Sastre, 2006). La faible perception du risque s'explique à la fois par une sous-estimation du risque (Moore et Parson, 2000) et une surestimation des compétences (De Craen, Twisk, Hagenzieker, Elffers et Brookhuis, 2008). D'ailleurs ces deux dernières notions ont souvent été étudiées de pair (Deery, *ibid.*). De manière générale, pour gérer une situation de conduite, un

conducteur s'évalue comme plus compétent qu'un conducteur moyen (Delhomme, 1991 ; Kouabenan *et al*, *ibid.*). Cette surestimation des compétences se retrouve chez les jeunes conducteurs novices (De Craen *et al*, 2008 ; Gregersen, 1994), notamment lors de l'auto-évaluation des capacités pour gérer une situation sous l'influence de l'alcool (Causse, Kouabenan et Delhomme, 2004). Ce biais se manifeste très tôt dans l'apprentissage de la conduite, bien avant que le conducteur soit titulaire du permis. En effet, déjà durant la période d'apprentissage avec un instructeur professionnel, les apprentis conducteurs surestiment leurs compétences par rapport à l'évaluation faite par l'instructeur (De Craen *et al*, 2011 ; Hall et West, 1996). De plus, le type d'apprentissage de la conduite influence la confiance en ses propres compétences : ceux ayant suivi une formation avec un accompagnateur privé sont plus confiants et moins critiques envers leurs capacités que ceux ayant suivi une formation avec un moniteur professionnel (Tronsmoen, 2008, 2010).

Par ailleurs, il existe une relation inverse entre évaluation subjective et performance objective, notamment chez les jeunes conducteurs. Plusieurs expérimentations comparent les auto-évaluations de conducteurs jeunes et âgés sur les effets d'une tâche distractive pendant la conduite (Horrey, Lesch, Garabet, 2008, 2009). De manière générale, les conducteurs sous-estiment l'impact de la tâche distractive sur les performances de conduite. Une relation entre évaluation subjective et performance est trouvée spécifiquement pour les jeunes conducteurs masculins : ceux qui s'auto-évaluaient comme étant très bons dans une tâche sont en réalité ceux dont les performances sont les plus mauvaises. De telles relations entre évaluation subjective et performance ne se retrouvent pas pour les conducteurs plus âgés et expérimentés (Horrey *et al*, *ibid.*).

Enfin, des auteurs se sont demandé s'il était possible d'entraîner un individu à faire une auto-évaluation correcte de son comportement. Gregersen (1998, cité dans OCDE, 2006) a soumis deux groupes de jeunes conducteurs novices (18-24 ans) à un test en situation de dérapage. Le premier groupe a suivi une formation basée sur les aspects techniques de la gestion du dérapage, et le second groupe a suivi une formation visant une prise de conscience des difficultés à gérer un dérapage. Les conducteurs ont pour consigne d'estimer le nombre d'essais corrects. Les résultats indiquent que les conducteurs ayant suivi la formation sur les aspects techniques ont davantage surestimé leur compétences que ceux ayant suivi la formation raisonnée. Par ailleurs, des effets différentiels de l'entraînement sont retrouvés en fonction de l'expérience de conduite : un entraînement basé sur la responsabilisation du conducteur est plus bénéfique pour les conducteurs novices que les expérimentés (White, Cunningham et Titchener, 2011).

En résumé, le conducteur doit évaluer ses compétences et le risque d'accident aussi précisément que possible afin de réagir de manière adaptée aux exigences de la situation. Or le conducteur sous estime le risque d'accident et surestime ses compétences, notamment lorsqu'il est novice. Dès lors, il sera plus susceptible d'adopter des comportements risqués au volant comme des excès de vitesse ou conduire sous l'influence de l'alcool. Toutefois l'ensemble de ces résultats est à prendre avec précaution car les méthodologies divergent d'une expérience à l'autre et l'influence de la méthode de recueil de données sur l'orientation des résultats a été démontrée (De Craen *et al*, 2011).

La fonction sociale de la conduite automobile

La motivation du conducteur influence également son comportement. La conduite automobile a une fonction sociale importante notamment chez les jeunes conducteurs pour qui le véhicule représente non seulement un moyen de locomotion mais aussi un moyen d'autonomie et d'indépendance vis-à-vis des parents (Michel *et al*, 2002). La jeunesse est aussi une période où l'individu est en recherche de sensations et est susceptible de prendre des risques. Certains profils de personnalité, caractéristiques des jeunes comme une recherche de sensations fortes et une impulsivité élevée, déterminent un style de conduite risqué et augmentent le risque d'accident (Ades et Lejoyeux, 2004 ; Gregersen, 1996 ; Ulleberg et Rundmo, 2003). De plus, contrairement aux conducteurs plus âgés, les jeunes considèrent la conduite comme une des activités susceptibles de procurer des sensations fortes et du plaisir. Elle participe donc à la construction de l'identité du jeune via l'adoption de comportements qui peuvent s'avérer risqués (Causse *et al*, 2004 ; Michel *et al*, *ibid.*). La prise de risques des jeunes conducteurs est marquée par des excès de vitesse, un non respect des distances de sécurité, ou encore une conduite sous l'emprise d'alcool (Arnett, 1990 ; Arnett, Offer et Fine, 1997 ; Bina, Graziano et Bonino, 2006 ; Hampson, Burn, Severson et Slovic, 1992 ; Smart et Vassalo, 2005). Or il existe un lien entre la prise de risques au volant et le risque d'accidents : une vitesse excessive intervient dans 50% des accidents mortels chez les jeunes conducteurs contre 30% chez les conducteurs plus âgés (Andrian, 1992, cité par Michel *et al*, 2002). D'autre part, la recherche de sensation forte à travers l'adoption de comportement risqué comme la conduite sous l'emprise de l'alcool peut expliquer en partie la surreprésentation des jeunes dans les accidents liés à un taux d'alcool positif (Jellalian, Alday, Spirito, Rasile et Nobile, 2000).

En résumé, apprendre à conduire nécessite du temps et de la pratique pour atteindre un niveau de compétences suffisant pour coordonner l'ensemble des sous-tâches de conduite. En effet, la conduite automobile fait appel à de nombreuses compétences sensori-motrices, perceptives et cognitives qui s'automatisent au fil de l'expérience. Les conducteurs novices ont des difficultés à intégrer et coordonner l'ensemble de ces compétences. Pour manœuvrer son véhicule, un conducteur doit exécuter plusieurs tâches simultanément (contrôler sa trajectoire, freiner, changer de vitesse) de manière fluide et sans effort afin de garder une capacité de réserve de ressources cognitives nécessaire pour gérer une tâche secondaire le cas échéant. Un conducteur doit systématiquement explorer son environnement du regard, connaître et appliquer les règles du code de la route, évaluer correctement les distances, les vitesses et les marges de sécurité, anticiper les évolutions de la situation et prendre rapidement une décision concernant sa vitesse et sa trajectoire. Le conducteur doit non seulement maîtriser l'ensemble de ces compétences mais aussi à tout moment, savoir apprécier ses propres capacités et agir en conséquence. Par ailleurs, le comportement du conducteur est également influencé par de nombreux facteurs de personnalité comme la recherche de sensation ou l'impulsivité qui le poussent à adopter des comportements plus risqués comme les excès de vitesse ou la conduite sous l'emprise de substances psycho actives.

5. Problématique

Nous avons vu que l'activité du conducteur nécessite un partage permanent des ressources attentionnelles entre les différentes sous-tâches de conduite, mais aussi avec les diverses activités secondaires susceptibles d'être engagées (Hahn, Wall-Wild et Falkenstein, 2011 ; Lemerrier et Cellier, 2008 ; Metz, Schömig et Krüger, 2011). La conduite automobile est par essence une tâche d'attention divisée qui exige du conducteur la mise en œuvre simultanée de compétences motrices, perceptives et cognitives. Or, les novices éprouvent des difficultés à partager leur attention entre plusieurs sources d'informations en comparaison aux conducteurs expérimentés pour lesquels une partie des sous tâches de conduite sont réalisées de manière automatique (Engström *et al*, 2003). Ensuite, le style de vie généralement associé aux jeunes laisse penser qu'ils ont tendance à adopter des comportements risqués comme le fait de fumer, boire, faire des excès de vitesse et se mettre dans des situations dangereuses (Berg, 2001 ; Palamara et Stevenson, 2000). Les jeunes conducteurs novices présentent donc d'une part un manque d'automatisation des tâches de conduite lié à leurs faibles compétences et d'autre part, une prise de risques excessive. Il apparaît donc essentiel d'aborder la question de leur comportement tant du point de vue de la prise de risques que de celui de la compétence.

Pour cela, deux expériences ont été réalisées. La première a pour objectif d'étudier les déterminants de la prise de risques auto-rapportée au sein d'une population de 167 jeunes conducteurs. D'une part, les résultats de cette expérience nous renseignent sur les comportements à risques adoptés par les jeunes conducteurs. D'autre part, ils nous serviront de base d'interprétation pour les recherches suivantes sur simulateur de conduite. La seconde expérience vise à déterminer l'impact de la réalisation d'une tâche perceptivo-motrice secondaire, présentée au centre ou en périphérie de la scène visuelle, en fonction de l'expérience, l'âge et le type d'apprentissage suivi. Cette expérience compare les performances de jeunes conducteurs, novices et expérimentés, ayant suivi soit un apprentissage traditionnel (AT) soit un apprentissage anticipé à la conduite (AAC), aux performances de conducteurs expérimentés plus âgés. Tout d'abord, nous supposons que les performances de tous les conducteurs sont dégradées lors de la réalisation d'une tâche secondaire. Ensuite, nous nous attendons à des performances de conduite inférieures pour les conducteurs novices que pour les expérimentés. De plus, nous supposons que l'interférence liée à la double-tâche est plus grande pour les conducteurs novices. Nous avons vu précédemment que les performances en double tâche sont influencées par le type de processus mobilisés. Une tâche de

conduite simple, comme une tâche de suivi de véhicule, devrait ainsi mobiliser des processus automatiques de la part des expérimentés, contrairement aux novices pour lesquels la majorité des sous tâches de conduite nécessite encore un contrôle de l'attention. C'est pourquoi la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite devrait être plus difficile pour un conducteur novice que pour un expérimenté.

Par ailleurs, on sait que la capacité du conducteur à partager son attention entre plusieurs sources d'informations est dégradée sous l'influence de l'alcool et que les jeunes ont un risque d'accident largement supérieur à celui des conducteurs plus âgés, et ceci dès de faibles doses d'alcool (Peck, Gebers, Voas, Romano, 2008 ; Zador, Krawchuk et Voas, 2000). C'est donc tout naturellement que nous avons réalisé une troisième expérience pour déterminer l'impact de l'alcool, et notamment à faibles doses, sur les performances de conduite de jeunes conducteurs, novices et expérimentés. Les conducteurs doivent réaliser une tâche d'attention divisée similaire à celle de l'expérience 2 lors de 3 sessions expérimentales (placebo, faible dose d'alcool, forte dose d'alcool). La question est de savoir si les performances des conducteurs novices sont particulièrement dégradées par la consommation d'alcool c'est-à-dire de manière plus prononcée que celles des conducteurs expérimentés, et ceci dès de faibles doses.

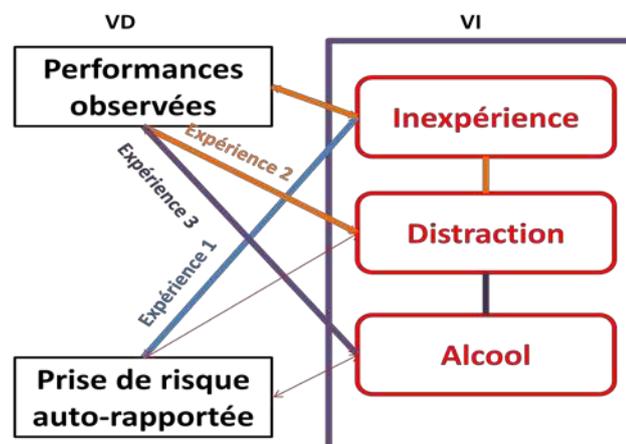


Figure 8. Représentation schématique des 3 expériences.

L'originalité de ce travail de thèse réside dans les aspects suivants.

En premier lieu, le Driving Behaviour Questionnaire (DBQ) a été utilisé pour étudier la prise de risques en conduite automobile dans de nombreux pays (Blockley et Hartley, 1995 ; Gras et al, 2006 ; Gabaude, Marquié et Obrio-Claudiel, 2010 ; King et Parker, 2008 ; Ozkan, Lajunen, Summala, 2006 ; Reason *et al*, 1990). Toutefois, à l'heure actuelle et à notre connaissance, en France, seuls les comportements à risque des conducteurs tout venant ou âgés ont été rapportés (Gabaude *et al*, 2010 ; Gueho, Granier et Abric, 2014). Notre première expérience vise ainsi à

caractériser spécifiquement les comportements à risque adoptés par les jeunes conducteurs durant les trois années suivant leur obtention du permis, et ceci en les différenciant sur la base du nombre d'années d'expérience, du type d'apprentissage à la conduite et du sexe.

En second lieu, dans l'expérience 2, la capacité du conducteur à diviser son attention entre deux tâches est étudiée en fonction du type d'apprentissage (AT vs AAC). A notre connaissance, seule une recherche expérimentale s'est penchée sur le sujet (Damn *et al*, 2011) en comparant les performances de conduite de deux groupes de conducteurs (AT vs AAC) dans un environnement rural et urbain. Jusqu'alors il semble qu'aucune étude ne s'est intéressée au bénéfice potentiel apporté par l'apprentissage anticipé de la conduite en termes d'investissement de ressources attentionnelles, notamment dans une situation d'attention divisée impliquant une tâche de suivi de véhicule. De plus, nous différencions à travers notre design expérimental, les effets liés à l'âge du conducteur de ceux liés au manque d'expérience. Pour cela, les performances des conducteurs novices âgés de 18 ans (AT) sont comparées à celles de conducteurs expérimentés âgés de 21 ans (effet de l'expérience) et à celles de conducteurs novices âgés de 21 ans (effet de l'âge).

Enfin, dans l'expérience 3, nous abordons l'étude des interactions existant entre de multiples facteurs, jusque là étudiés isolément : l'impact de l'alcool, de l'attention divisée et du manque d'expérience sur les performances de conduite obtenues en simulateur. Les conducteurs novices sont-ils particulièrement sensibles à une tâche distractive ? Les conducteurs novices sont-ils particulièrement sensibles aux effets de l'alcool ? Qu'en est-il lorsqu'un conducteur novice alcoolisé doit réaliser plusieurs tâches simultanément ? Les données accidentologiques témoignent de la pertinence de ce questionnement dans la mesure où de nombreux accidents liés à des phénomènes de distraction de l'attention ou de conduite sous influence impliquent des jeunes conducteurs, souvent novices (Jellalian *et al*, 2000 ; Young et Regan, 2007). Cette thèse défend l'idée générale d'un effet additionnel entre inexpérience de conduite et consommation d'alcool, notamment dans des situations complexes. Notre thèse suppose plus particulièrement que les performances de conduite des novices sont plus affectées par une tâche d'attention divisée et/ou par la consommation d'alcool, même à une faible dose, que celles des conducteurs expérimentés et plus âgés, qui sont plus susceptibles de mettre en œuvre des mécanismes de compensation.

2. Expériences

1. Expérience 1 : Déterminants de la prise de risques au volant pour les jeunes conducteurs Français

Notre première recherche porte sur les déterminants psycho-sociaux de la prise de risques au volant, dans une population de jeunes conducteurs français durant la période de permis probatoire.

La prise de risques peut être considérée comme une décision, un choix entre plusieurs alternatives. Chacune de ces alternatives est caractérisée par un degré d'incertitude au sujet de la probabilité d'échec ou de réussite. Chaque probabilité d'échec et de réussite est associée à une utilité du risque, c'est-à-dire à ses potentiels bénéfiques et coûts. L'euphorie ressentie en réponse à un comportement à risques comme les excès de vitesse ou la conduite sous l'emprise de l'alcool est perçue comme un bénéfice de ce comportement. Par conséquent, un des déterminants de la prise de risques réside dans la recherche de sensations (Ozmen et Sumer, 2011 ; Rimmo et Aberg, 1999). La recherche de sensations est une tendance exacerbée à l'adolescence et chez le jeune adulte ce qui peut expliquer, en partie, les comportements risqués adoptés sur la route par les jeunes conducteurs.

Depuis plus de 20 ans, la prise de risques au volant a été étudiée en utilisant le Driving Behaviour Questionnaire développé par Reason *et al* (1990). Ce questionnaire évalue les comportements aberrants auto rapportés et reflète les compétences métacognitives des conducteurs. Deux types de comportements aberrants sont distingués : les erreurs et les violations. Les erreurs sont définies comme un échec d'actions planifiées ou un mauvais jugement dans la sélection d'une action pour atteindre le but désiré, dont les conséquences peuvent être potentiellement dangereuses. Il existe plusieurs types d'erreurs selon l'intentionnalité qui y est rattachée. Rappelons que quand l'intention est adaptée mais que l'action n'est pas réalisée, le terme 'slips' est utilisé, mais s'il n'y a pas d'intention ou que l'intention est inadaptée à la situation, le terme 'mistake' est employé. Les slips sont des erreurs résultant d'une inattention et impliquent un faible risque pour les autres. Les mistakes proviennent d'un déficit dans le processus de jugement et/ou d'inférences impliquées dans la sélection d'une cible (piéton, véhicule, infrastructure, etc.). Les violations sont définies comme des comportements délibérément insécuritaires, pas nécessairement répréhensibles, mais pouvant avoir des conséquences indésirables. Les erreurs reflètent un dysfonctionnement cognitif du traitement de l'information alors que les violations ont des origines psychosociales et motivationnelles (Reason *et al*, 1990). Les erreurs et les violations font donc respectivement référence aux compétences de conduite et au style de conduite (Evans, 2004), deux facteurs qui

influencent le risque d'accident (Elander, West et French, 1993). Par ailleurs, les violations auto rapportées sont de forts prédicteurs des accidents et des blessures, notamment chez les jeunes conducteurs (De Winter et Dodou, 2010 ; Gras *et al*, 2006 ; Wahlberg, Dorn et Kline, 2011).

Le DBQ a été largement utilisé pour étudier les comportements à risques et caractériser les erreurs commises par le conducteur. La méta analyse de De Winter et Dodou (2010) liste 174 recherches qui ont été réalisées dans de nombreux pays : le Royaume-Uni (Reason *et al*, 1990), la Finlande (Ozkan, Lajunen, El Chliaoutakis ; Ozkan *et al*, 2006 ; Parker et Summala, H, 2006), l'Espagne (Gras *et al.*, *ibid.*), la France (Gabaude *et al*, 2010). Certaines recherches se sont centrées sur l'étude de la prise de risques au volant chez les jeunes conducteurs (Ozkan et Lajunen, 2005a), d'autres chez les adultes (Gueho *et al*, 2014 ; Reason *et al*, *ibid.*), ou encore chez des conducteurs âgés (Gabaude *et al*, *ibid.* ; Ozkan et Lajunen, 2005b). Le score au DBQ est corrélé à l'âge du conducteur : chez les jeunes les violations augmentent avec l'âge, alors que les erreurs diminuent (Bjornskau et Sagberg, 2005, De Craen, 2010). Ces relations ne se retrouvent pas chez les conducteurs âgés et expérimentés (Ozkan et Lajunen, 2005b). Cependant, l'influence à la fois de l'expérience et de l'âge sur le comportement du conducteur contribue à alimenter la confusion. Pour différencier ces deux facteurs, Wells, Tong, Sexton, Grayson et Jones (2008) ont tenté d'évaluer les comportements aberrants de conducteurs novices d'âges différents. Ils ont montré que les conducteurs novices âgés reportaient moins de violations que les conducteurs novices plus jeunes. Il semblerait donc que la fréquence des violations augmente avec l'expérience (durant le premier mois après l'obtention du permis), puis diminue ensuite avec l'âge.

Afin d'étudier les déterminants psycho-sociaux de la prise de risques au volant dans une population de jeunes conducteurs français, nous avons comparé les comportements aberrants auto rapportés au DBQ en différenciant les conducteurs sur la base de l'âge (en contrôlant le nombre d'années d'expérience), du sexe et du type d'apprentissage suivi. Les résultats obtenus dans cette recherche nous serviront de base d'interprétation aux performances recueillies ultérieurement sur simulateur de conduite.

1.1. Méthode

Participants

Le DBQ est complété par 253 jeunes conducteurs, de 18 à 21 ans (45,5% d'hommes et 54,5% de femmes). La moyenne d'âge est de 19 ans ($M = 19.37$, $SD = 1.02$). Tous les participants ont obtenu leur permis de conduire à l'âge de 18 ans ce qui permet de contrôler le nombre d'années d'expérience. Ils ont été recrutés à l'Université d'Aix- Marseille et par conséquent, sont tous étudiants. Parmi eux, 63.5% ont suivi un apprentissage anticipé et 36.5% ont suivi un apprentissage traditionnel à la conduite.

Questionnaire

Le DBQ est composé de 50 items concernant la fréquence des erreurs et des violations commises durant l'année précédente. La version originale construite par Reason *et al* (ibid.) a récemment été traduite en Français (Gabaude *et al*, ibid.). Pour chaque item, le participant doit indiquer sur une échelle à six points (0 = jamais ; 1 = rarement ; 2 = parfois ; 3 = souvent ; 4 = fréquemment ; 5 = presque toujours), la fréquence avec laquelle ils commettent un comportement aberrant. Chaque item varie sur deux dimensions : le type de comportement et le degré de risque potentiel pour les autres usagers de la route. Il existe d'une part 3 principales catégories de comportements : 'slips', 'mistakes' et violations délibérées (+ 3 items impliquant des violations non intentionnelles). D'autre part, 3 catégories de risque sont identifiées : 0 = pas de risque pour les autres usagers de la route, seulement un inconfort pour le conducteur, 1 = un risque éventuel pour les autres usagers et 2 = un risque défini pour les autres usagers.

1.2. Analyse statistique

Premièrement, une analyse en composante principale (ACP) avec une rotation varimax normalisée a été réalisée sur les 50 items présents dans le DBQ (ACP1). Pour chaque item, la réponse était classifiée sur une échelle ordinale discrète. Le nombre d'axes retenus a été validé graphiquement en explorant les valeurs propres. Trois axes significatifs sont trouvés. Les items qui ne contribuent pas à la création d'un axe retenu préalablement ont été supprimés pour la qualité de l'interprétation. Une nouvelle ACP a été réalisée sans ces items afin d'aboutir à la structure factorielle définitive (ACP2). Pour chaque axe sélectionné, nous avons créé un label du facteur qui met en relation l'ensemble des items composant un facteur. Puis, une ANOVA a été réalisée, afin de tester l'hypothèse selon laquelle les comportements de conduite aberrants varient en fonction de l'âge, du sexe, et du type d'apprentissage (apprentissage traditionnel vs anticipé). Le seuil statistique retenu

est de $p < .05$. Les tests post hoc de Bonferonni sont utilisés par la suite pour les comparaisons par paires. Les analyses sont réalisées en utilisant le logiciel Statistica.

1.3. Résultats

Fréquence relative des items

Les 5 types de comportements qui se produisent les plus souvent rapportés sont : les excès de vitesse ($M = 2,79$; $SD = 1,19$) ; avoir un œil sur la route (tâche secondaire) ($M = 2,09$, $SD = 1,38$) ; conduire aussi vite avec les codes qu'avec les phares ($M = 1,96$, $SD = 1,68$) ; excès de vitesse volontaire la nuit ($M = 1,91$, $SD = 1,51$) ; oublier le rapport de vitesse ($M = 1,60$, $SD = 1,28$). Les cinq comportements de conduite les moins fréquemment rapportés sont : freiner trop brutalement ($M = 0,28$, $SD = 0,55$) ; tenter de démarrer en troisième vitesse ($M = 0,26$, $SD = 0,56$) ; tenter de partir sans avoir mis le contact ($M = 0,26$, $SD = 0,61$) ; tourner à droite à proximité d'un cycliste ($M = 0,18$, $SD = 0,40$) ; et oublier les clés à l'intérieur de la voiture ($M = 0,17$, $SD = 0,55$). Les moyennes et écart types pour les 50 items sont détaillés dans le tableau 1.

Tableau 1. Score moyen (croissant) aux items du DBQ.

Item	Description des items	Type de comportement^a	Niveau de risque^b	M	SD
2	Excès de vitesse	VN	1	2.78	1.19
45	Avoir un oeil sur la route (tâche secondaire)	E	2	2.09	1.38
5	Conduite aussi vite avec les codes qu'avec les phares	F	1	1.96	1.68
21	Excès de vitesse délibéré la nuit	V	2	1.91	1.51
15	Oublier le rapport de vitesse	E	0	1.6	1.28
8	Oublier où le véhicule est stationné	E	0	1.45	1.30
23	Rouler en plein phare	E	1	1.32	1.08
9	Distraction, Freiner brutalement	E	2	1.23	0.89
14	Sortie d'autoroute manquée	E	0	1.21	0.86
7	Coller le véhicule qui précède	V	2	1.19	1.3
33	Mauvaise planification du trajet	F	0	1.12	0.99
13	Pas de souvenir du trajet effectué	E	0	1.09	1.2
17	Prendre une route habituelle par erreur	E	0	1.07	1
39	Refuser la priorité au bus	V	1	1.03	1.12
38	Prendre la mauvaise sortie d'un rond point	E	0	1.02	0.87
27	Avoir une aversion	V	1	0.95	1.19
11	Tourner à droite alors qu'un véhicule arrive	F	2	0.94	0.75
30	Sous estimer la vitesse d'un véhicule arrivant	E	2	0.88	0.83

16	Dépassement risqué	V	2	0.85	1.16
28	Ne pas voir un piéton qui attend	VN	2	0.74	0.78
31	Percuter un obstacle en reculant	F	1	0.74	0.88
46	Ne pas voir un piéton qui traverse	E	2	0.72	0.73
41	Oublier de contrôler les rétroviseurs lors d'une manœuvre	E	2	0.7	0.93
26	Boire et conduire	V	2	0.7	1.19
22	Ne pas avoir ses papiers (permis, carte grise)	VN	0	0.69	1.14
37	Entrer dans un rond point par une mauvaise voie	F	0	0.68	0.89
34	Doubler une file de véhicule	F	0	0.67	0.92
4	Doubler par la droite	V	2	0.66	1.02
47	Faire une course poursuite	V	2	0.65	1.09
25	Faire la queue et quasiment entrer en collision avec le véhicule devant	E	1	0.63	0.75
10	Confondre phare et essuie glace	E	0	0.62	0.89
18	Passer au feu rouge	V	2	0.62	0.89
35	Doubler un véhicule lent par la droite	V	2	0.61	0.93
19	Enervé, faire la chasse	V	2	0.59	0.98
48	Forcer le passage d'un véhicule prioritaire	V	2	0.53	0.78
43	Rouler en sens interdit	V	2	0.49	0.86
42	Tenter de doubler un véhicule qui tourne à gauche	E	2	0.48	0.67
29	Stationner sur un emplacement interdit	V	0	0.47	0.87
44	Passer au feu rouge la nuit	V	2	0.41	0.88
50	Mauvaise estimation de l'intervalle de temps pour tourner	F	2	0.4	0.61
40	Ignorer les panneaux de priorités	V	2	0.36	0.56
32	Ne pas voir un piéton qui sort de derrière un bus	E	2	0.35	0.54
20	Doubler sans contrôle des rétroviseurs	E	2	0.33	0.61
12	Mauvaise estimation des distances dans un parking	F	1	0.32	0.59
36	Couper un virage à gauche	V	2	0.31	0.63
49	Freiner trop brusquement	F	2	0.28	0.55
1	Tenter de démarrer en 3eme	E	0	0.26	0.56
6	Tenter de partir sans avoir mis le contact	E	0	0.26	0.61
24	Tourner à droite, Presque heurter un cycliste	E	2	0.18	0.40
3	Oublier les clés à l'intérieur du véhicule	E	0	0.17	0.55

^aType de comportement, avec slips (S), mistakes (M), violations non intentionnelles (UV), violations (V).

^bNiveau de risque, avec pas de risque (0), risque possible (1), risque défini (2)

Analyse factorielle

Comme nous l'avons indiqué, une ACP est réalisée. Le graphique des valeurs propres (voir annexe 1) indique que les données sont le mieux représentées par une solution en 3 facteurs. Ces trois facteurs orthogonaux expliquent 28,6% de la variance totale. Pour chaque facteur, un niveau de risque est calculé en moyennant le niveau de risque de chaque item composant le facteur (item dont

le coefficient est égal ou supérieur à 0,30). Le premier facteur (F1) concerne les erreurs d'inattention, et explique 16,6% de la variance totale (Alpha de Cronbach = 0,85). Le facteur est nommé 'erreurs d'inattention' et est principalement composé de 'slips' et de 'mistakes', avec un risque possible pour les autres (niveau de risque = 1,15). Le second facteur est principalement composé de violations associées à un risque élevé (niveau de risque = 1,65). Le facteur est nommé « violations » et explique 7,8% de la variance totale (Alpha de Cronbach = 0,83). Le troisième facteur concerne les violations, 'mistakes' et 'slips' avec un fort impact sur la sécurité (niveau de risque = 1,59). Ce facteur est nommé « erreurs graves » et explique 4,2% de la variance totale (Alpha de Cronbach = 0,82).

Les données sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques des items (N = 50), Structure factorielle et poids factoriels.

Numéro d'item	Description des items	Type de comportement ^a	Niveau de risque ^b	F1	F2	F3
				Erreur d'inattention	Violation	Erreur grave
9	Distraction, Freiner brutalement	S	2	0,617		
25	Faire la queue et quasiment entrer en collision avec le véhicule devant	S	1	0,571		
31	Percuter un obstacle en reculant	M	1	0,550		
8	Oublier où le véhicule est stationné	S	0	0,547		
15	Oublier le rapport de vitesse	S	0	0,543		
30	Sous estimer la vitesse d'un véhicule arrivant	S	2	0,536		
12	Mauvaise estimation des distances dans un parking	M	1	0,507		
11	Tourner à droite alors qu'un véhicule arrive	M	2	0,495		
38	Prendre la mauvaise sortie d'un rond point	S	0	0,487		
17	Prendre une route habituelle par erreur	S	0	0,484		
50	Mauvaise estimation de l'intervalle de temps pour tourner	M	2	0,487		0.306
46	Ne pas voir un piéton qui traverse	S	2	0,477	0.31	
10	Confondre phare et essuie glace	S	0	0,461		
36	Couper un virage à gauche	V	2	0,442		
14	Sortie d'autoroute manquée	S	0	0,429		
13	Pas de souvenir du trajet effectué	S	0	0,426		
28	Ne pas voir un piéton qui attend	UV	2	0,412		
32	Ne pas voir un piéton qui sort de derrière un bus	S	2	0,388		
49	Freiner trop brusquement	M	2	0,347		
33	Mauvaise planification du trajet	M	0	0,325		
37	Entrer dans un rond point par une mauvaise voie	M	0	0,314		
23	Rouler avec les pleins phares	S	1	0,303		
21	Excès de vitesse délibéré la nuit	V	2		0,765	
47	Faire une course poursuite	V	2		0,65	
19	Enervé, faire la chasse	V	2		0,595	
2	Excès de vitesse	UV	1		0,58	
7	Coller le véhicule qui précède	V	2		0,516	
16	Dépassement risqué	V	2		0,511	0.356
26	Boire et conduire	V	2		0,448	0.35
27	Avoir une aversion	V	1		0,418	
45	Avoir un oeil sur la route (tâche secondaire)	S	2	0.322	0,412	
5	Conduite aussi vite avec les codes qu'avec les phares	M	1		0,375	

48	Forcer le passage d'un véhicule prioritaire	V	2		0,362	0,327
35	Doubler un véhicule lent par la droite	V	2			0,675
4	Doubler par la droite	V	2			0,578
44	Passer au feu rouge la nuit	V	2		0.306	0,549
18	Passer au feu rouge	V	2		0.333	0,53
43	Rouler en sens interdit	V	2		0.356	0,529
29	Stationner sur un emplacement interdit	V	0			0,523
20	Doubler sans contrôle des rétroviseurs	S	2			0,41
42	Tenter de doubler un véhicule qui tourne à gauche	S	2	0.332		0,403
39	Refuser la priorité au bus	V	1		0.360	0,394
34	Doubler une file de véhicule	M	0		0.344	0,39
40	Ignorer les panneaux de priorités	V	2	0.38		0,388
24	Tourner à droite, Presque heurter un cycliste	S	2	0.318		0,38
22	Ne pas avoir ses papiers (permis, carte grise)	UV	0			0,359
1	Tenter de démarrer en 3eme	S	0			
6	Tenter de partir sans avoir mis le contact	S	0			
41	Oublier de contrôler les rétroviseurs lors d'une manœuvre	S	2			

Note. Pour des raisons de clarté, les facteurs ayant un poids inférieur à 0.30 sont supprimés (comme dans Gabaude *et al*, 2010)

Type de comportement et niveaux de risque extraits de Reason *et al*, 1990.

^a Type de comportement, avec slips (S), mistakes (M), violations non intentionnelles (UV), violations (V).

^b Niveau de risque, avec pas de risque (0), risque possible (1), risque défini (2)

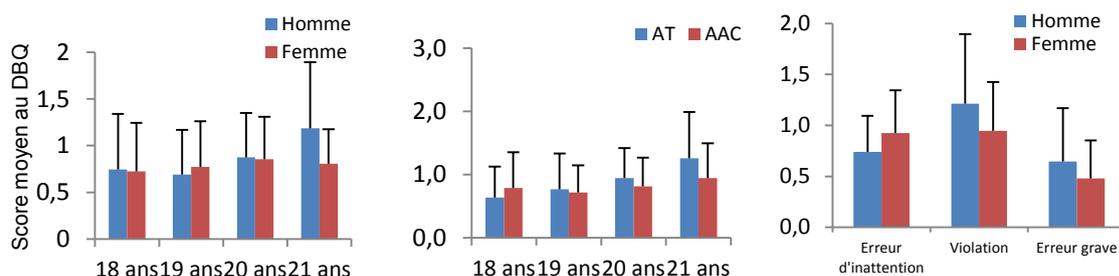
Pour explorer la validité externe du DBQ, l'ACP à été répétée en retenant seulement les 32 items (ACP 2) qui contribuent à un seul des trois facteurs identifiés dans l'ACP1 (voir tab. 2). Les résultats de la seconde ACP (31,5% de variance) confirment la structure factorielle élaborée précédemment, avec respectivement les mêmes items qui contribuent au même facteur : F1 – erreurs d'inattention (17 % de variance expliquée par 19 items ; Alpha de Cronbach = 0,82) ; F2 – violations (9 % de variance expliquée par 7 items ; Alpha de Cronbach = 0,71) ; et F3 – erreurs graves (5,5 % de variance expliquée par 5 items ; Alpha de Cronbach = 0,60).

ANOVA en fonction de l'âge, du sexe, et du type d'apprentissage

L'analyse des résultats met en évidence un effet de l'âge du conducteur sur les comportements aberrants auto-rapportés ($F(3, 237) = 6,88, p < 0,05$) : les conducteurs âgés de 21 ans rapportent plus de comportements aberrants que les conducteurs âgés de 18 ans et 19 ans ($p < 0,05$). Une interaction tendancielle entre l'âge et le sexe des conducteurs ($F(3, 237) = 2,44, p = 0,06$) tend à montrer que seuls les conducteurs âgés de 21 ans, de sexe masculin, rapportent plus de comportements aberrants que tous les autres groupes de conducteurs ($p < 0,05$) (voir fig. 9a.).

Une interaction tendancielle entre l'âge et la formation des conducteurs ($F(3, 237) = 2,18, p = 0,09$) indique que seuls les conducteurs âgés de 21 ans, ayant suivi un apprentissage traditionnel ont tendance à rapporter significativement plus de comportement aberrants que tous les autres groupes de conducteurs ($p < 0,05$) (voir fig. 9b.).

De plus, l'analyse des résultats met en évidence un effet des facteurs (erreurs d'inattention vs violations vs erreurs graves) ($F(2, 474) = 157,96, p < 0,05$) : les conducteurs rapportent plus fréquemment des violations ($M = 1,07 ; SD = 0,6$) que des erreurs d'inattention ($M = 0,8 ; SD = 0,4 ; p < 0,05$) et des erreurs graves ($M = 0,6 ; SD = 0,5 ; p < 0,05$). Une interaction significative entre les facteurs et le sexe des conducteurs ($F(2, 474) = 29,75, p < 0,05$) met en évidence le fait que les femmes rapportent plus d'erreurs d'inattention que les hommes ($p < 0,05$) alors que ces derniers rapportent plus de violations et d'erreurs graves que les femmes ($p < 0,05$) (Voir fig. 9c.).



a.

b.

c.

Figure 9. Score moyen au DBQ a. en fonction de l'âge et du sexe du conducteur ; b. en fonction de l'âge et du type d'apprentissage à la conduite ; c. en fonction du sexe et du types de comportements

1.4. Discussion

Les propriétés psychométriques du DBQ

Afin de caractériser notre population d'étude, nous avons comparé la structure factorielle mise en évidence dans notre recherche réalisée auprès des jeunes conducteurs français avec celle trouvée précédemment auprès des conducteurs tout-venant aux Etats-Unis (Reason *et al*, 1990) et celle de conducteurs âgés français (Gabaude *et al*, 2010).

Fréquence relative des items

En accord avec ces deux études, le comportement de conduite aberrant le plus fréquemment rapporté concerne les excès de vitesse. Ainsi, quels que soient l'expérience et l'âge du conducteur, tous les conducteurs rapportent des excès de vitesse non délibérés. Ce comportement semble donc stable quels que soient l'âge et l'expérience du conducteur.

L'item concernant la réalisation d'une tâche distractive pendant la conduite est le second item le plus fréquemment rapporté dans notre étude alors qu'il ne fait pas partie des items majoritairement cités dans les deux autres études. Ceci peut s'expliquer par un développement des tâches annexes à la conduite automobile, lié à l'émergence de nouvelles technologies (téléphone portable, mais aussi GPS, lecteur DVD incorporé au véhicule), largement utilisées par les jeunes conducteurs.

L'item « conduire aussi vite avec les codes qu'avec les phares » est souvent rapporté par les jeunes conducteurs et par les conducteurs âgés (Gabaude *et al*, *ibid.*). Cet item est inclus dans les « mistakes », définies par Reason *et al* (*ibid.*) comme un échec en mémoire, et serait donc caractéristique d'une population présentant des difficultés cognitives. Comme la conduite requiert des processus contrôlés qui sont typiquement lents, sériels et exigent un grand nombre de ressources cognitives (Schneider et Shiffrin, 1977), nous pouvons supposer que l'augmentation de la fréquence de production de ce comportement aberrant est influencé par un manque de ressources

pour les conducteurs inexpérimentés et par un ralentissement du traitement de l'information pour les conducteurs âgés.

L'item « excès de vitesse la nuit » est le quatrième item le plus fréquemment rapporté ; c'est le second dans l'étude de Reason *et al* (ibid.), alors qu'il ne fait pas partie des 5 items les plus rapportés dans l'étude de Gabaude *et al* (ibid.). Ce résultat est en accord avec la littérature sur le DBQ qui indique que les novices rapportent plus de violations que les conducteurs âgés (De Winter et Dodou, 2010).

Le cinquième item le plus fréquemment rapporté est « oublier le rapport de vitesse » et peut être considéré comme une erreur d'inexpérience liée au fait que les conducteurs novices sont obligés de compenser leur manque d'automatisation des compétences motrices par un contrôle visuel et attentionnel volontaire. Les conducteurs âgés rapportent aussi « oublier le rapport de vitesse ». Les limites du système cognitif des conducteurs jeunes et âgés sont ainsi à nouveau soulignées.

Notons que l'item « boire et conduire » est également souvent rappelé et qu'il contribue par ailleurs à la création de deux facteurs : violation et erreur grave. La conduite sous influence est un phénomène largement rapporté par les jeunes conducteurs, même lorsqu'ils sont novices.

Enfin, l'item « essayer de démarrer en 3^{ème} vitesse » est un des comportements les moins susceptibles d'être rapporté dans notre étude, comme dans l'étude de Reason *et al* (ibid.) ainsi que dans celle de Gabaude *et al* (ibid.). Cet item ne permet pas de discriminer les conducteurs entre eux.

Structure factorielle

Les analyses concernant la structure de la version française du DBQ révèlent 3 facteurs principaux faisant respectivement référence aux « erreurs d'inattention », aux « violations » et aux « erreurs graves ». Ce résultat est en accord avec les travaux précédents et confirme ainsi une structure factorielle stable à travers l'ensemble des recherches (Aberg et Rimmo, 1998 ; Blockey et Hartley, 1995 ; Lajunen, Parker et Summala, 2004 ; Parker, McDonald, Rabbitt, et Sutcliffe, 2000 ; Parker, West, Stradling et Manstead, 1995). Comme dans l'étude de Gabaude *et al* (ibid.), les trois facteurs orthogonaux trouvés dans cette recherche expliquent 28,6% de la variance totale, alors qu'ils expliquent 33% de la variance totale dans l'étude de Reason *et al* (ibid.). Cependant, la contribution des facteurs expliquant le comportement aberrant diffère selon l'âge du conducteur. Pour les

conducteurs âgés, les erreurs d'inattention expliquent une large part de la variance totale (19,7%), comme chez les jeunes conducteurs (16,6%), alors que ce facteur n'arrive qu'en 3^{ème} position avec 3,9% de variance expliquée dans l'étude de Reason *et al* (ibid.). Les erreurs d'inattention rapportées par les jeunes conducteurs peuvent être causées par une surcharge de leurs ressources mentales. Pour les conducteurs novices, la plupart des sous tâches de conduite ne sont pas automatisées et mobilisent une grande quantité de ressources attentionnelles. Cette explication est en accord avec les conclusions de Laapotti (2003) qui indiquent que les jeunes conducteurs rapportent plus de « mistakes » que les conducteurs expérimentés, notamment pour les tâches impliquant une recherche visuelle et une analyse rapide des situations complexes, comme par exemple, tourner à une intersection ou doubler un autre véhicule. Le troisième facteur concernant les violations délibérées dans l'étude de Gabaude *et al* (ibid.) apparaît en seconde position dans notre étude avec 7,8% de variance expliquée. L'âge moyen de notre échantillon peut expliquer cette différence. En effet, beaucoup d'études ont montré que les jeunes conducteurs rapportaient plus de violations que les conducteurs âgés (Blockey et Hartley, 1995 ; Parker *et al*, 2000 ; Rimmo et Hakamies-Blomqvist, 2002). Notre troisième facteur nommé « erreurs graves » explique 4,2 % de la variance et correspond au second facteur chez Gabaude *et al* (ibid.) et chez Reason *et al* (ibid.). Les erreurs graves engagent un haut risque d'être impliqué dans un accident et la probabilité d'être exposé à de telles situations de conduite est plus faible pour les novices que pour les conducteurs expérimentés.

Déterminants de la prise de risques au volant

La fréquence des comportements aberrants semble évoluer avec l'âge et le sexe du conducteur. Les conducteurs âgés de 20 ans, notamment les hommes, rapportent plus de comportements aberrants de conduite que les conducteurs âgés de 18 ans et 19 ans. Les hommes rapportent également plus de violations et d'erreurs graves ainsi que moins d'erreurs d'inattention que les femmes. Ces résultats sont en accord avec les précédentes recherches qui mettent en évidence des différences de comportements au volant entre hommes et femmes (Aberg et Rimmo, 1998 ; Blockey et Hartley, *ibid.* ; Ozkan *et al*, 2006a, 2006b ; Reason *et al*, *ibid.*). Les erreurs et les violations sont connues pour être de forts prédicteurs des accidents de la route et des blessures chez les jeunes conducteurs (DeWinter et Dodou, 2010). Un score global au DBQ plus élevé pour les conducteurs de 21 ans peut s'interpréter par une augmentation de la prise de risques en fin de période de permis probatoire comparativement au début. Ce résultat permet d'expliquer, au moins en partie, le fort pourcentage d'accidents liés à une prise de risques volontaire (Clarke, Ward et Truman, 2005). L'augmentation

de la prise de risques après environ trois ans d'expérience s'explique en partie par un biais d'optimisme de la part des jeunes conducteurs qui ont tendance à surestimer leurs propres capacités et à sous estimer le danger (De Winter, Wieringa, Kuipers, Mulder, et Mulder 2007 ; Hatfield et Fernandez, 2009 ; Rimmo et Aberg, 1999). Le biais d'optimisme chez les jeunes conducteurs augmente durant la première année de conduite, puis diminue avec l'âge (Dejoy, 1989). Il se peut que le biais d'optimisme et la prise de risques évoluent dans le même sens. Pour étudier cette hypothèse, il serait intéressant d'inclure un groupe d'âge plus élevé que celui que nous avons retenu, pour localiser l'âge où la prise de risques chute. Une autre possibilité serait de réaliser une étude longitudinale pour étudier le développement intra-individuel et la prise de risques en relation avec les facteurs cognitifs et motivationnels.

Limites de l'étude

Quelques limitations méthodologiques dans notre étude doivent être notées. Premièrement, notre échantillon était relativement restreint et exclusivement composé d'étudiants ce qui peut réduire les différences entre groupes. En effet, les conducteurs étudiants avec un haut niveau socioculturel sont moins impliqués dans les accidents que la population générale du même âge (Murray, 1998). Deuxièmement, le DBQ est basé sur des données auto rapportées et est, par conséquent, sensible à certains biais comme la surestimation des compétences (Aberg, Afram et Nillson, 2005) ou la désirabilité sociale (Wahlberg, 2010). Troisièmement, nous avons utilisé une échelle ordinale et non quantitative (Podsakoff, MacKenzie, Lee et Podsakoff, 2003). Enfin l'échelle est subjective et l'interprétation de la distance existant entre les différentes modalités de la réponse est sujette à des différences inter individuelles.

1.5. Conclusion

L'intérêt de cette étude réside dans l'analyse des comportements à risque au sein d'une population de jeunes conducteurs durant la période de permis probatoire. L'augmentation de la prise de risques au volant à 21 ans pour une population ayant obtenu le permis à 18 ans correspond à la fin de la période de permis probatoire, c'est-à-dire au moment où le conducteur novice obtient un permis complet s'il n'a pas commis d'infraction. Il est possible d'envisager que ce statut de conducteur à part entière, ou tout du moins à permis entier, peut influencer la prise de risques des jeunes conducteurs.

Enfin, nous avons constaté d'une part que les défaillances attentionnelles constituent l'une des principales sources de comportement aberrant sur la route. En effet, l'item 'tâche distractive' est rapporté en seconde position et le facteur principal de notre étude est composé d'erreurs d'inattention. D'autre part, la prise d'alcool au volant n'est pas rare dans la population de jeunes conducteurs. L'ensemble de ces résultats nous servira de base d'interprétation des performances recueillies lors de notre seconde expérience. Celle-ci a pour objet de déterminer l'impact de la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite, en fonction de l'expérience.

2. Méthodologie des expériences 2 & 3

Cette partie a pour objectif de présenter les points méthodologiques communs aux deux prochaines expérimentations. L'hypothèse d'une interaction entre les effets délétères liés à la réalisation d'une tâche secondaire et l'impact négatif de l'alcool sur les performances du conducteur à été mise à l'épreuve. Nous supposons par ailleurs que la dégradation des performances (liées à la réalisation d'une tâche et/ou à l'absorption d'alcool) serait plus importante pour les conducteurs novices que pour les expérimentés. A cette fin, nous avons réalisé deux expérimentations sur simulateur de conduite. La première visait à étudier l'impact d'une double tâche sur le comportement du conducteur en fonction du niveau d'expérience, de l'âge et du type d'apprentissage suivi. La seconde utilise la même tâche pour comparer le comportement de jeunes conducteurs, novices et expérimentés, lors de trois sessions expérimentales (placebo ; faible dose d'alcool ; forte dose d'alcool).

2.1. Participants : Une question de vocabulaire

Un des premiers points à clarifier est celui de l'utilisation des expressions « jeune conducteur » et « conducteur novice », trop souvent confondues dans la littérature. Or un jeune conducteur n'est pas obligatoirement novice, et un conducteur novice n'est pas obligatoirement jeune. Il convient donc de préciser à quoi chacune des appellations renvoie.

Dans ce travail, un 'jeune conducteur' est défini comme un conducteur âgé de 18 à 24 ans et un 'conducteur novice' comme un conducteur toujours engagé dans la période de permis probatoire. Nous ne prétendons pas que le conducteur passe du statut de novice à celui d'expérimenté le jour de ses 20 ans ou à la date d'anniversaire des 2 ou 3 ans de son permis mais considérons au contraire l'acquisition d'expérience au travers d'un continuum entre le statut de novice et d'expérimenté. Nous qualifierons d'une part comme 'jeune conducteur novice', un jeune âgé de 18 à 24 ans toujours impliqué dans la période de permis probatoire et comme 'jeune conducteur expérimenté', un jeune de 20 à 24 ans qui a terminé sa période de permis probatoire.

2.2. Matériel : Le simulateur de conduite

Les expériences 2 et 3 sont réalisées sur simulateur de conduite SIM²-IFSTTAR à base fixe (voir fig. 10). Ce simulateur, équipé d'une base de données ARCHISIM (Architecture parallèle multi-acteurs pour la simulation de trafic, Espié, Gauriat et Duraz, 2005), est composé d'un quart de véhicule (siège conducteur), d'un tableau de bord, d'un pédalier et d'un volant et ses commandes principales. Le compteur de vitesse, le compte tour et les voyants du tableau de bord ne sont pas connectés. L'image de la scène routière est projetée à l'avant sur 3 écrans (1,80 m de largeur x 1,35m de hauteur), un écran central et deux écrans latéraux (placés à 1,93 m de l'œil du conducteur), soit un champ visuel de 150° en horizontal et 40° en vertical. Chaque écran a une résolution de 1280x1024 pixels. Le simulateur de conduite n'est pas équipé de rétroviseur. Un son quadripophonique reproduisant les bruits internes du véhicule (moteur, roulement, démarreur) mais aussi les bruits externes liés au trafic est diffusé dans la cabine. Le simulateur de conduite est équipé d'une boîte automatique. Les valeurs d'accélération, de freinage et de direction du simulateur sont celles d'un véhicule moyen.



Figure 10. Simulateur de l'IFSTTAR de Salon de Provence ²

Le simulateur de conduite permet de reproduire virtuellement les interactions entre le conducteur et l'environnement. C'est un outil pertinent pour décrire et analyser finement le comportement du conducteur puisqu'il est placé dans un environnement réaliste (Koustanai et Aillerie, 2004) de telle sorte que son comportement est représentatif de ce qui est attendu sur la route (Yan, Abdel-Aty, Radwan, Wang et Chilakapati, 2008). Les performances obtenues peuvent être généralisées à une conduite réelle, au moins dans le cas de l'anticipation d'évènements, de la gestion de la vitesse et du maintien de l'attention (Chan *et al*, 2010). L'utilisation d'un simulateur de conduite permet de contrôler les variables manipulées tout en garantissant toutes les conditions de sécurité nécessaires au bon déroulement de l'expérience (Chang, Hwang, Hsu, Fung, Chang et Chang, 2006). En effet, l'infrastructure du monde virtuel tout comme les scénarios de conduite sont sous le contrôle total de

l'expérimentateur ce qui permet de réduire les biais susceptibles de se produire en condition de trafic réel. De plus, le simulateur peut être utilisé pour étudier les situations dangereuses difficiles à reproduire sur une route réelle, comme la conduite sous l'emprise alcool (Helland *et al*, 2013). Les inconvénients du simulateur de conduite restent toutefois nombreux. Les déplacements et notamment les accélérations sont limités. (Chapon, Gabaude et Fort, 2006). De plus, l'incongruence entre les messages issus des différents systèmes sensoriels peut provoquer l'apparition d'un « mal du simulateur », comparable au « mal des transports ». Enfin, le simulateur de conduite reste un outil limité concernant l'étude de la prise de risques au volant puisque les conducteurs sont conscients d'être en toute sécurité et de ne courir aucun risque. En dépit de ces limites, et que ce soit dans une perspective de recherche ou de formation, l'application de la simulation de conduite tend à se développer dans des disciplines variées du fait de l'amélioration de la capacité à produire un monde de plus en plus réaliste et de la baisse du coût de réalisation (Allen, Park et Cook, 2010).

2.3. Procédure : le protocole de double tâche

Les participants s'installent sur le simulateur de conduite et sont soumis à un protocole de double-tâche. Ils réalisent dans un premier temps chacune des tâches simples isolément afin d'obtenir une mesure de référence (situation de simple tâche), puis les deux tâches simultanément (situation de double tâche). L'ordre de présentation des tâches simples est contrebalancé tout au long de l'expérience afin d'éviter un effet d'apprentissage, susceptible de biaiser les résultats. L'analyse du différentiel de performance entre situations de référence et situation de double tâche permet de mesurer l'interférence relative entre les deux tâches.

a. Tâche simple de suivi de véhicule

Dans ce protocole, la tâche principale est une tâche de suivi de véhicule où le participant a pour consigne de suivre le véhicule qui le précède en conservant la distance de sécurité instaurée initialement (30 m) (voir fig. 11). La complexité intrinsèque de la tâche de suivi de véhicule est manipulée à travers deux types de séquences : les séquences peu complexes où la vitesse du véhicule lièvre variait (accélération, décélération) avec de faibles amplitudes (± 10 km/h, ± 15 km/h, ± 20 km/h) sont comparées aux séquences complexes où la vitesse du véhicule lièvre variait avec de fortes amplitudes (± 35 km/h, ± 40 km/h, ± 45 km/h). Ces variations de la vitesse du véhicule lièvre sont séparées par des phases de vitesse constante. Les données sont traitées sous forme de

séquences (25 ou 30 sec) comprenant une variation de vitesse du véhicule lièvre (4 sec) et une phase de vitesse constante (21 ou 26 sec). Les séquences prédéterminées sont présentées dans un ordre aléatoire tout au long de l'expérience. La distribution de l'ensemble de ces séquences est présentée dans les annexes 3 et 4.

Le véhicule lièvre et le véhicule piloté par le conducteur sont placés sur une route à trois voies, dans la voie centrale, de telle sorte que l'environnement soit parfaitement symétrique. L'environnement visuel est dénaturé, il ne comprend aucun élément (arbre, maison) susceptible d'attirer l'attention du conducteur.



Figure 11. Illustration de la tâche simple de suivi de véhicule

b. Tâche simple de jugement de la parité d'un nombre

La tâche secondaire est une tâche de jugement de parité de nombre. Un nombre apparaît en surimpression de la scène routière qui défile (voir fig. 12). Le participant doit indiquer le plus rapidement possible si le nombre est pair ou impair, en actionnant la commande de l'appel de phares ou celle du lave-glace. Les nombres sont présentés pendant 400 ms à un intervalle de [1.5-2.5 sec] au centre ou en périphérie de la scène visuelle. La distribution spatiale de l'ensemble de ces stimuli est présentée en annexes 3 et 4.

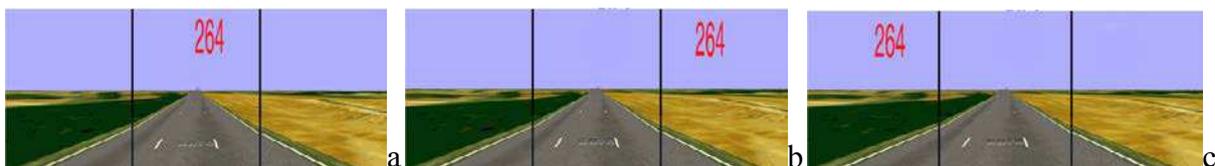


Figure 12. Illustration de la tâche simple de jugement de parité de nombre (a) en vision centrale ; (b) en vision périphérique droite ; (c) en vision périphérique gauche.

c. Double tâche

Dans un second temps, les participants réalisent les deux tâches simultanément : suivre le véhicule lièvre tout en jugeant la parité du nombre susceptible d'apparaître au centre ou en périphérie de la scène visuelle (voir fig. 13). L'interférence liée à la réalisation de la double tâche est calculée en comparaison avec les mesures de référence des performances obtenues en tâche simple.



Figure 13. Illustration de la double tâche

A la fin de chaque tâche, le participant doit évaluer sa performance sur une échelle de 0 (très mauvaise) à 10 (très bonne), ainsi que la difficulté de la tâche sur une échelle de 0 (très facile) à 10 (très difficile).

Le choix des deux tâches simples est pertinent car d'une part, la tâche de suivi de véhicule permet d'invoquer de manière expérimentale la mise en œuvre de processus cognitifs de nature différente (automatique vs contrôlée) en fonction de l'expérience du conducteur. Elle implique des séquences d'actions routinières pour un conducteur expérimenté, et ne devrait donc mobiliser que peu de ressources, contrairement à un conducteur novice qui devrait exercer un contrôle attentionnel volontaire pour maintenir la position (latérale et longitudinale) du véhicule. Par conséquent, avec l'expérience, les ressources attentionnelles libérées par l'automatisation de la tâche principale de suivi de véhicule pourront être réinvesties dans la tâche secondaire de jugement de parité de nombre. Nous supposons donc de meilleures performances pour les conducteurs expérimentés que pour les conducteurs novices.

D'autre part, la tâche secondaire a été choisie hors du contexte de conduite automobile dans le but d'éviter un possible effet d'apprentissage lié à l'expérience. Il n'y a donc pas de raison que les performances de conducteurs novices et expérimentés se différencient en tâche simple de jugement de parité de nombre. Par ailleurs, la majorité des informations traitées par le conducteur est de nature visuelle (Sivak, 1996) et les deux tâches utilisées dans ce protocole utilisent le même canal

sensoriel (visuel). L'interférence entre ces deux tâches devrait donc être particulièrement forte puisque chacune d'entre elles puise ses ressources dans le même réservoir d'attention (Wickens, 1984, 2002).

En résumé, les deux expériences utilisent un paradigme de double tâche sur simulateur de conduite pour comparer les performances de jeunes conducteurs, novices et expérimentés. La première s'attache à déterminer l'impact d'une double tâche sur les performances de conduite en fonction de l'expérience et du type d'apprentissage. Un de nos objectifs est de différencier les facteurs liés à l'âge de ceux liés à l'expérience. La seconde utilisera le même paradigme pour comparer les performances de jeunes conducteurs, novices et expérimentés, lors de trois sessions expérimentales (placebo, faible dose d'alcool, forte dose d'alcool)

3. Expérience 2 : Impact d'une double tâche sur les performances de conduite en fonction de l'expérience.

Nous avons vu précédemment qu'une des interprétations du risque accru d'accidents pour les jeunes conducteurs réside en partie dans la limitation des ressources mentales liées au manque d'automatisation de certaines sous-tâches de conduite. En effet, l'acquisition de l'ensemble des diverses compétences nécessaires à la conduite se faisant au fil des années d'expérience, les novices présentent des difficultés pour gérer et coordonner l'ensemble des sous tâches de conduite. Les tâches motrices ne sont pas encore automatisées, et mobilisent par conséquent une quantité assez importante de ressources, qui ne peuvent pas être réinvesties dans les tâches perceptives et cognitives comme la détection du danger et l'évaluation du risque. L'objectif de l'expérience 2 consiste à évaluer l'impact d'une tâche visuelle secondaire sur les performances du conducteur, en fonction de l'expérience, de l'âge et du type d'apprentissage suivi. L'hypothèse testée est celle de l'existence d'une relation entre interférence liée à la réalisation d'une tâche secondaire et inexpérience de conduite : l'interférence liée à la réalisation d'une tâche secondaire devrait être d'autant plus élevée que le conducteur est inexpérimenté.

3.1. Participants

Les soixante-sept participants inclus dans cette expérimentation sont divisés en plusieurs groupes qui diffèrent par leur expérience de conduite, le type d'apprentissage suivi et l'âge des conducteurs. Un protocole de recherche innovant a été mis en place pour tenter de différencier les effets liés à l'âge de ceux liés à l'inexpérience de conduite. La distribution des participants est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques des participants de l'expérience 2.

Groupe	Expérience de conduite (mois)	Forma- tion	Km parcouru	Age	Sexe	N
Novice (G1)	(M = 4,3) (min = 0,5 ; max = 11)	AT	[0-5000 km]	18	(h : 7 ; f : 6)	13
Novice (G2)	(M = 4,5) (min = 0,5 ; max = 8)	AAC	[0-5000 km]	18	(h : 6 ; f : 9)	15
Novice (G3)	(M = 2,8) (min = 0,5 ; max = 5,5)	AT	[0-5000 km]	21	(h : 2 ; f : 11)	13
Expérimenté (G4)	(M = 33,9) (min = 28 ; max = 36)	–	[5000-10000 km]	21	(h : 7 ; f : 5)	12

Expérimenté (G5)	(M = 102,6) (min = 57 ; max = 197)	–	[10000–150000 km]	M = 28 (min = 25 ; max = 34)	(h : 7 ; f : 7)	14
---------------------	---------------------------------------	---	-------------------	------------------------------------	-----------------	----

N = effectif

L'ensemble des participants possède une vision normale ou corrigée à la normale.

Une façon de départager les facteurs liés à l'âge de ceux liés à l'expérience de conduite est de comparer les performances de conducteurs ayant obtenu leur permis à des âges différents et disposant de ce permis depuis un nombre plus ou moins important d'années. Les critères utilisés pour former les groupes de conducteurs permettent d'isoler d'une part les effets de l'expérience (comparaison G3/G4) de ceux de l'âge (comparaison G1/G3) et d'autre part de s'intéresser aux systèmes d'apprentissages à la conduite français en différenciant les conducteurs sur la base de l'apprentissage reçu (comparaison G1/G2) mais aussi en comparant les performances en début et en fin de période de permis probatoire (comparaison G1/G4).

3.2. Procédure

Pour une durée totale d'une heure, chaque session expérimentale inclut la complétion du Driving Behaviour Questionnaire et de différentes échelles d'évaluation ainsi que la réalisation des tâches expérimentales sur simulateur de conduite.

Renseignements autobiographiques :

Avant toute chose, les participants remplissaient une fiche d'identification précisant leur âge, le type d'apprentissage à la conduite (AT vs AAC), la date d'obtention du permis de conduire, ainsi que le nombre de kilomètres parcourus dans l'année précédente. Le nombre d'accidents dans lesquels ils ont déjà été impliqués et le nombre d'infractions commises et sanctionnées sont également comptabilisés. La latéralité manuelle est renseignée et la latéralité dominante des participants est également testée à travers la mesure de la vitesse de distribution d'un jeu de cartes.

Driving Behaviour Questionnaire :

Le Driving Behaviour Questionnaire (DBQ) est un outil d'évaluation de la prise de risques auto-rapportée. Ce questionnaire est composé de 50 comportements aberrants. Le conducteur a pour

tâche de juger de la fréquence de production de chacun de ces comportements durant l'année précédente (voir l'expérience 1 pour une présentation détaillée du DBQ).

Echelles d'évaluations :

Les participants complètent plusieurs échelles d'évaluation (évaluation de la conduite générale, de la dangerosité de conduite, des habiletés de conduite et du risque d'être impliqué dans un accident de la route) à la fois pour la population générale, leur groupe d'appartenance et pour eux-mêmes.

Les questions sont présentées comme ci-dessous :

- Évaluez la conduite des individus « dans la population générale » ? « âgés de 18 à 21 ans » ou « âgés de 25-35ans » ? « votre propre conduite » ? sur une échelle de 0 (les individus conduisent très mal) à 10 (les individus conduisent très bien).
- Évaluez le niveau de dangerosité des conducteurs « dans la population générale » ? « âgés de 18 à 21 ans » ou « âgés de 25-35ans » ? « votre propre niveau de dangerosité » ? sur une échelle de 0 (les conducteurs ne sont pas du tout dangereux) à 10 (les conducteurs sont très dangereux).
- Évaluez les capacités des conducteurs « dans la population générale » ? « âgés de 18 à 21 ans » ou « âgés de 25-35ans » ? « vos propres capacités » ? sur une échelle de 0 (les conducteurs ont de très mauvaises capacités de conduite) à 10 (les conducteurs ont de très bonnes capacités de conduite).
- Évaluez le risque d'être impliqué dans un accident pour un conducteur « dans la population générale » ? « âgés de 18 à 21 ans » ou « âgés de 25-35ans » ? « votre propre risque » ? sur une échelle de 0 (risque très faible) à 10 (risque très fort).

Tâche d'attention divisée :

La tâche d'attention divisée utilisée dans cette expérience est présentée dans le point 2.3.

3.3. Variables dépendantes & Analyses statistiques

1. La prise de risques du conducteur est mesurée à travers le score moyen au DBQ. Plus le score est élevé, plus le conducteur déclare commettre fréquemment des comportements aberrants. Pour chaque participant, un score pour chacun des trois facteurs composant le DBQ (erreurs d'inattention, violations, erreurs graves) est calculé. Puis une ANOVA à mesure répétée de type 5 (expérience de conduite) * 3 (facteurs du DBQ) est effectuée.

2. La représentation du conducteur concernant les capacités, le danger et le risque d'accident est déterminée par les scores aux échelles d'évaluation. Le conducteur doit évaluer ces différentes dimensions pour lui-même, son groupe d'appartenance et la population générale. Une ANOVA à mesures répétées de type 5 (expérience de conduite) * 3 (évaluation soi, groupe, population) est effectuée.

3. Les performances de conduite sont évaluées à travers plusieurs mesures découpées en trois grandes classes :

- *la position du véhicule* sur la voie (position latérale moyenne du véhicule sur la voie, déviation standard de la position latérale (SDLP), nombre de sorties de voie, temps passé en sortie de voie, amplitude maximale des sorties de voies)

- *la vitesse du véhicule* (vitesse minimum, vitesse maximum², temps de régulation de vitesse³, temps de relâchement de la pédale d'accélération, moment d'appui sur le frein⁴, nombre d'appuis sur la pédale de frein et un indice de variation de vitesse⁵).

- *la distance* entre le véhicule et le véhicule lièvre (distance inter-véhiculaire (DIV) moyenne, DIV minimum, DIV maximum, écart type moyen de DIV, temps de régulation de distance⁶ et indices de variation de distance⁷).

En raison d'un défaut du simulateur se manifestant par un manque de puissance dans l'accélération, seules les performances dans les séquences de freinage sont prises en compte.

Les performances à la tâche secondaire de jugement de parité de nombre sont mesurées à travers le temps de réponse et le pourcentage de réponses correctes, d'erreurs et d'omissions.

L'auto-évaluation des conducteurs concernant leurs performances et la difficulté de la tâche est également mesurée.

² La vitesse minimum et la vitesse maximum sont calculées en référence à la vitesse du véhicule lièvre. Par exemple si le véhicule lièvre adopte une vitesse de 60 km/h et que la vitesse du véhicule piloté varie entre 55 km/h et 65 km/h, la vitesse minimum est de -5km/h et la vitesse maximum de + 5km/h.

³ Le temps de régulation de vitesse correspond au temps mis par le véhicule piloté par le conducteur pour adopter la vitesse de référence du véhicule lièvre.

⁴ Ces mesures du comportement du conducteur sont inspirées des travaux de Engström, Aust, Viström (2010) qui décompose le temps de freinage en un temps de relâchement de la pédale d'accélérateur et un temps d'appui sur la pédale de frein. Ces mesures sont résumées sous les termes temps de décélération et temps de freinage dans les graphiques et tableaux ci-dessous.

⁵ L'indice de variation de vitesse correspond au nombre de fois où le véhicule piloté est passé au dessus, puis en dessous (sinusoïde) de la vitesse du véhicule lièvre.

⁶ Le temps de régulation de distance correspond au temps mis par le véhicule piloté par le conducteur pour adopter la distance de référence avec le véhicule lièvre (30m).

⁷ L'indice de variation de distance correspond au nombre de fois où le véhicule piloté par le conducteur est passé au dessus, puis en dessous (sinusoïde) de la distance de référence avec le véhicule lièvre.

Les performances obtenues en double tâche sont comparées à celles obtenues en tâche simple de référence (tâche de suivi de véhicule et tâche de jugement de parité de nombre). Les effets de la tâche et de l'expérience sur les performances de conduite sont analysés à travers une ANOVA à mesures répétées de type : 5 (groupe de conducteurs) * 2 (tâche). Les effets de la tâche, de la localisation de présentation de l'information (centre vs périphérie) et de l'expérience de conduite sur la vitesse et la précision du traitement de l'information sont analysés à travers une ANOVA à mesures répétées de type : 5 (expérience de conduite) * 2 (tâche) * 2 (localisation de présentation). Les analyses statistiques sont effectuées avec le logiciel Statistica. Le test post-hoc de Bonferroni est ensuite utilisé pour faire des comparaisons par groupes. Les données sont testées pour un seuil significatif de $p < 0.05$.

3.4. Résultats

3.4.1. Résultats au DBQ

Un effet principal du type de comportement aberrant est rapporté ($F(2, 124) = 72,82, p < 0,05$). Comme dans l'expérience 1, les conducteurs rapportent plus de violations ($M = 0,79$; $SD = 0,53$) que d'erreurs d'inattention ($M = 0,75$; $SD = 0,38$) ($p < 0,05$) et d'erreurs graves ($M = 0,46$; $SD = 0,37$) ($p < 0,05$). Ils rapportent également significativement plus d'erreurs d'inattention que d'erreurs graves ($p < 0,05$).

De manière générale, la prise de risques auto-rapportée est sensible aux effets de l'expérience ($F(4, 62) = 3,24, p < 0,05$) (voir fig. 14) puisque les conducteurs expérimentés âgés de 21 ans ($M = 18,4$; $SD = 12$) rapportent plus de comportements aberrants que les conducteurs novices âgés de 18 ans ayant suivi un AT ($M = 9,8$; $SD = 7,9$) ($p < 0,05$). Ce pattern de résultats est similaire à celui trouvé dans l'expérience 1.

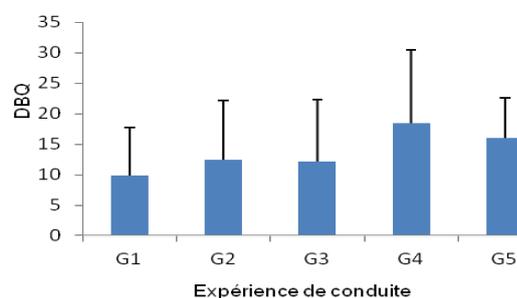


Figure 14. Prise de risques auto rapportée (DBQ) en fonction de l'expérience de conduite

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

3.4.2. Résultats aux échelles d'évaluation :

Les résultats obtenus aux échelles d'évaluation sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Score moyens aux évaluations (Ecart-type entre parenthèse)

	Soi	Groupe d'appartenance	Population générale	F
Conduite générale	6,3 (1,3)	4,9 (1,5)	4,6 (1,5)	F (2, 124) = 39,49, p < 0,05
Dangerosité	3,7 (1,5)	6,1 (1,7)	5,9 (1,7)	F (2, 124) = 74,36, p < 0,05
Capacité de conduite	6,1 (1,5)	5,8 (1,7)	5,6 (1,3)	F (2, 124) = 4,177, p < 0,05
Risque d'accident	4,7 (1,9)	6,2 (2)	5,3 (2,1)	F (2, 124) = 21,39, p < 0,05

De manière générale, les conducteurs s'auto-évaluent comme meilleurs et moins dangereux que la population générale et leur groupe d'appartenance ($p < 0,05$). Aucune différence significative en fonction de l'expérience n'a été trouvée (respectivement $F(4, 62) = 1,08$, $p = 0,37$ et $F(4, 62) = 1,40$, $p = 0,25$). De plus, les conducteurs évaluent généralement leurs capacités de conduite comme étant plus grandes que celle des conducteurs dans la population générale ($p < 0,05$). Aucune différence significative n'a été trouvée entre le groupe d'appartenance et soi-même ($p > 0,05$), ni entre le groupe d'appartenance et la population générale ($p > 0,05$). Aucune différence significative en fonction de l'expérience n'a été démontrée ($F(4, 62) = 1,02$, $p = 0,40$). Par ailleurs, les conducteurs évaluent le risque d'accident de leur groupe d'appartenance comme étant plus élevé que leur propre risque d'accident ($p < 0,05$) et que celui de la population générale ($p < 0,05$). Ils évaluent également leurs propres risques d'accidents comme étant plus faibles que celui de la population générale ($p < 0,05$).

Enfin, le niveau d'expérience du conducteur influence l'évaluation du risque d'accident ($F(4, 62) = 3,20$, $p < 0,05$) (voir fig 15.). Le risque d'accident général (population générale, groupe d'appartenance et soi confondus) est évalué comme étant plus élevé par les conducteurs novices âgés de 18 ans et ayant suivi un AAC ($M = 6$; $SD = 1,8$) que par les conducteurs expérimentés et âgés de 25-35 ans ($M = 4,1$; $SD = 2,3$) ($p < 0,05$).

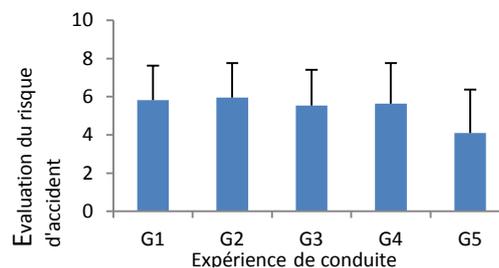


Figure 15. Evaluation du risque d'accident en fonction de l'expérience de conduite

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

3.4.3. Résultats à l'expérience sur simulateur de conduite :

Les performances du conducteur dans les séquences d'accélération ont été supprimées de nos analyses, seules les performances dans les séquences de freinage sont prises en compte.

Pour un souci de clarté et de compréhension, seuls les résultats significatifs et tendanciels sont présentés.

3.4.3.1. Effets de la tâche

Les performances obtenues en fonction de la tâche sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5. Performances en fonction de la tâche. (Ecart-type entre parenthèse)

		Tâche simple	Tâche double	F
Vitesse	Temps de régulation de vitesse (sec)	8,6 (2,1)	10,2 (3,2)	F (1, 62) = 29,00, p < 0,05
	Vitesse minimum (km/h)	- 6,9 (2,8)	- 5,7 (6,4)	F (1, 62) = 2,94, p = 0,09
	Vitesse maximum (km/h)	+ 32,9 (13,7)	+ 31,7 (12,9)	F (1, 62) = 28,64, p < 0,05
	Temps de décélération (sec)	10,2 (2,1)	10,1 (2,3)	F (1, 62) = 4,63, p < 0,05
Position	Position moy du véhicule sur la voie (cm)	130,7 (17,8)	138,6 (15,8)	F (1, 62) = 36,75, p < 0,05
	SDLP (cm)	14,8 (4)	14,2 (3,9)	F (1, 62) = 4,35, p < 0,05
	Sortie de voies (nbr)	1,8 (2,8)	0,8 (1,6)	F (1, 62) = 17,07, p < 0,05
	Temps passé en sortie de voie (sec)	5,4 (9,7)	1,7 (3,3)	F (1, 62) = 11,75, p < 0,05
Distance	Temps régulation de distance (sec)	6,5 (2,5)	6,1 (2,7)	F (1,62) = 37,67, p < 0,05
	DIV min (m)	31,1 (6,1)	33,4 (9,9)	F (1,62) = 14,91, p < 0,05
	DIV max (m)	50,6 (13,2)	55 (17)	F (1,62) = 34,75, p < 0,05
	DIV moy (m)	38,9 (9,6)	42,4 (13,8)	F (1,62) = 34,75, p < 0,05
	DIV écart-type (m)	10	10,6	F (1, 62) = 29,21, p < 0,05
Tâche de jugement de parité	RC (%)	91 (8)	87 (12)	F (1, 62) = 48,03, p < 0,05
	Erreur (%)	6 (5)	7 (6)	F (1, 62) = 4,87, p < 0,05
	Omission (%)	3 (5)	6 (10)	F (1, 62) = 23,55, p < 0,05

De manière générale, lorsque le conducteur est placé en situation de double tâche, une dégradation de ses performances à la tâche secondaire mais aussi du comportement de conduite est mise en évidence. En double tâche, une chute du pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire ainsi qu'une augmentation du pourcentage d'erreurs et d'omissions sont constatées. De plus, les conducteurs présentent des difficultés de régulation de vitesse et de distance se traduisant par une augmentation du temps de régulation de vitesse et de la variabilité de la DIV en double tâche. De plus, les conducteurs allongent leur DIV en double tâche comparativement à la simple tâche de suivi de véhicule.

Toutefois certains résultats sont surprenants puisqu'en simple tâche, les conducteurs présentent plus de difficultés pour maintenir une trajectoire stable sur la route correspondant à une augmentation des SDLP. Ils franchissent également plus souvent les lignes de leur voie de circulation et passent ainsi plus de temps en danger sur une voie où des véhicules sont susceptibles de survenir en face. Les conducteurs mettent également plus de temps pour décélérer suite à un freinage du véhicule lièvre ainsi que pour atteindre la distance de référence avec le véhicule lièvre en tâche simple de suivi de véhicule qu'en double tâche. Enfin, en simple tâche de suivi de véhicule, les conducteurs adoptent une vitesse plus éloignée de celle du véhicule lièvre qu'en double tâche.

3.4.3.2. Effets des séquences complexes

Les performances obtenues en fonction de la complexité de la tâche de suivi de véhicule sont présentées dans le tableau 6.

Tableau 6. Performances de conduite en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule (Ecart-type entre parenthèse)

		Complexité -	Complexité +	F
Vitesse	Temps de régulation de vitesse (sec)	8,6 (2,2)	10,2 (3,1)	F (1, 62) = 51,07, p < 0,05
	Vitesse minimum (moyenne) (km/h)	- 6 (3,8)	- 6,6 (6)	F (1, 62) = 4,07, p < 0,05
	Temps de freinage (sec)	9 (3,8)	9,8 (3,7)	F (1, 62) = 4,83, p < 0,05
	Temps de décélération (sec)	9,7 (2,2)	10,1 (2,1)	F (1, 62) = 3,85, p < 0,05
Position	Position moy du véhicule sur la voie (cm)	133,6 (17,3)	135,7 (17,2)	F (1, 62) = 10,52, p < 0,05
	SDLP (cm)	14 (3,8)	15 (4)	F (1, 62) = 15,86, p < 0,05
Distance	DIV minimum (m)	35,8 (9,7)	29,9 (7,4)	F (1, 62) = 78,91, p < 0,05
	DIV maximum (m)	52,5 (15,6)	58,7 (19,7)	F (1, 62) = 29,86, p < 0,05
	DIV moyenne (m)	43,1 (13,2)	41,6 (13,3)	F (1, 62) = 4,33, p < 0,05
	DIV écart type (m)	7,3	14,7	F (1,62) = 314,95, p < 0,05

Lors des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule, c'est-à-dire lorsque le véhicule lievre freine avec une forte amplitude, les conducteurs se situent légèrement plus sur la droite de la voie. Ils présentent également des difficultés pour maintenir une trajectoire stable (augmentation des SDLP) ainsi que pour réguler leur vitesse (vitesse min plus éloignée de la vitesse du véhicule lievre, augmentation du temps mis pour lâcher la pédale d'accélérateur et appuyer sur le frein) et leur distance de sécurité (augmentation de la variabilité de la DIV). Par ailleurs, lors des séquences complexes, les conducteurs adoptent des DIV moyennes plus courtes que lors des séquences peu complexes

3.4.3.2.1. Les effets des séquences complexes varient ils en fonction de la tâche ?

Les performances obtenues en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule, en tâche simple et double tâche, sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7. Performances de conduite en fonction de la tâche de suivi de véhicule et de la complexité des séquences. (Ecart type entre parenthèse)

		Simple tâche		Double tâche		F
		Complexité -	Complexité +	Complexité -	Complexité +	
Vitesse	Temps de régulation de vitesse (sec)	8 (1,7)	9,2 (2,3)	9,1 (2,6)	11,3 (3,4)	F (1, 62) = 3,34, p = 0,072
	Position moy du véhicule sur la voie (cm)	129 (17,7)	132,3 (17,9)	138,2 (15,8)	139,1 (15,8)	F (1, 62) = 3,52, p = 0,065
Distance	Temps de régulation de distance (sec)	6,1 (2)	6,8 (2,9)	5,2 (2,2)	4,9 (1,5)	F (1, 62) = 6,73, p < 0,05.
	DIV minimum (m)	33,5 (6,5)	28,8 (4,7)	38,1 (11,5)	31 (9,2)	F (1, 62) = 6,46, p < 0,05.

Les difficultés de régulation de vitesse (augmentation du temps de régulation de vitesse) ainsi que la réduction des DIV minimum mises en évidence lors des séquences complexes ($p < 0,05$) sont particulièrement marquées en double tâche comparativement à la tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$) (voir respectivement fig. 16a et fig. 16b).

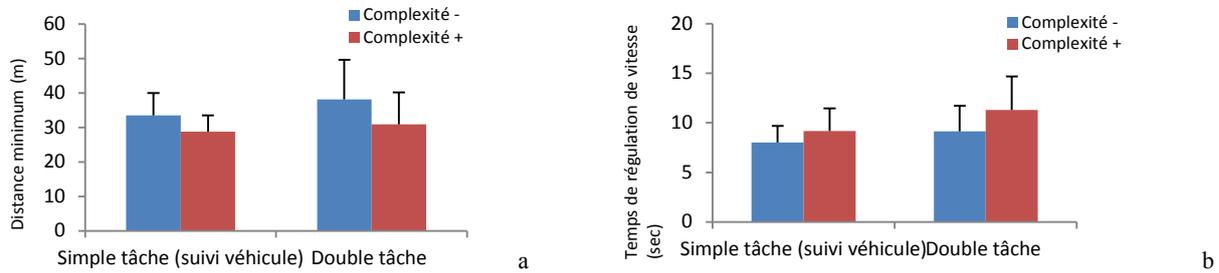


Figure 16. Performances de conduite en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. DIV min ; b. Temps de régulation de vitesse

Toutefois, certains résultats sont assez surprenants puisque certaines mesures des performances du conducteur sont sensibles aux séquences complexes uniquement en simple tâche. Par exemple, en simple tâche de suivi de véhicule, les conducteurs se situent plus à droite de la voie lors des séquences complexes que lors des séquences moins complexes ($p < 0,05$) (voir fig 17a). Par ailleurs, les conducteurs mettent moins de temps pour réguler leur distance en double tâche qu'en simple tâche de suivi de véhicule, uniquement lors des séquences complexes ($p < 0,05$) (voir fig 17b).

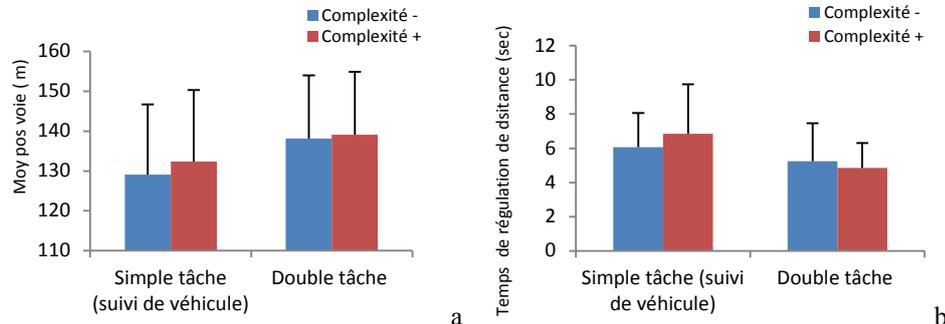


Figure 17. Performances de conduite en fonction de la tâche et de la complexité des séquences : a. position moyenne du véhicule sur la voie ; b. temps de régulation de distance.

3.4.3.3. Effets de la localisation de présentation du nombre

Dans cette expérience, nous avons différencié les performances des conducteurs en fonction de la localisation de présentation du nombre. En effet, le nombre à identifier était présenté soit au centre de la scène, soit en périphérie. Les performances obtenues en fonction de la localisation de présentation du nombre sont exposées dans le tableau 8.

Tableau 8. Performances à la tâche de jugement de parité de nombre en fonction de la localisation de présentation du nombre. (Ecart type entre parenthèse).

Tâche de	TR (sec)	Centre	Périphérie	F
		0,78 (0,08)	0,91 (0,08)	F (1, 62) = 108,1 p < 0,05

jugement de parité	RC (%)	96 (4)	83 (11)	F (1, 62) = 139,72, p < 0,05
	Erreur (%)	4 (3)	9 (6)	F (1, 62) = 64,99, p < 0,05
	Omission (%)	0,6 (3)	8 (10)	F (1, 62) = 59,18, p < 0,05

Lorsque le nombre est présenté en périphérie, le temps de réponse des conducteurs est plus long que lorsque le nombre est présenté au centre de la scène visuelle. Tous les conducteurs font également moins de réponses correctes ainsi que plus d'erreurs et d'omissions lorsque le nombre est présenté en périphérie que lorsqu'il est présenté au centre.

3.4.3.3.1. Les effets de la localisation de présentation du nombre varient-ils en fonction de la tâche ?

Les performances obtenues en fonction de la localisation de présentation du nombre en tâche simple et double tâche sont exposées dans le tableau 9.

Tableau 9. Performances à la tâche de jugement de parité de nombre en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre. (Ecart type entre parenthèse).

		Tâche simple		Double tâche		F
		Centre	Périphérie	Centre	Périphérie	
Tâche de jugement de parité	TR (sec)	0,77 (0,08)	0,91 (0,09)	0,78 (0,08)	0,91 (0,08)	F (1, 62) = 4,81, p < 0,05
	RC (%)	96 (3,8)	87 (8)	95 (3,3)	79 (12,1)	F (1, 62) = 40,56, p < 0,05
	Erreur (%)	3,7 (3,5)	7,4 (5,1)	3,8 (2,8)	9,8 (7,2)	F (1, 62) = 5,29, p < 0,05
	Omission (%)	0,4 (1,2)	5,5 (6)	0,7 (1,2)	11,2 (12,3)	F (1, 62) = 20,78, p < 0,05

La chute du pourcentage de réponses correctes ainsi que l'augmentation du temps de réponse lorsque le nombre est présenté en périphérie ($p < 0,05$) sont plus importantes quand le conducteur est en double tâche qu'en tâche simple de jugement de parité de nombre ($p < 0,05$) (voir respectivement fig 18a. et fig 18b) De plus, l'augmentation du nombre d'erreurs et d'omissions en double tâche par rapport à la tâche simple de jugement de parité se retrouve uniquement quand le nombre est présenté en périphérie ($p < 0,05$) (voir respectivement fig 19a et fig 19b).

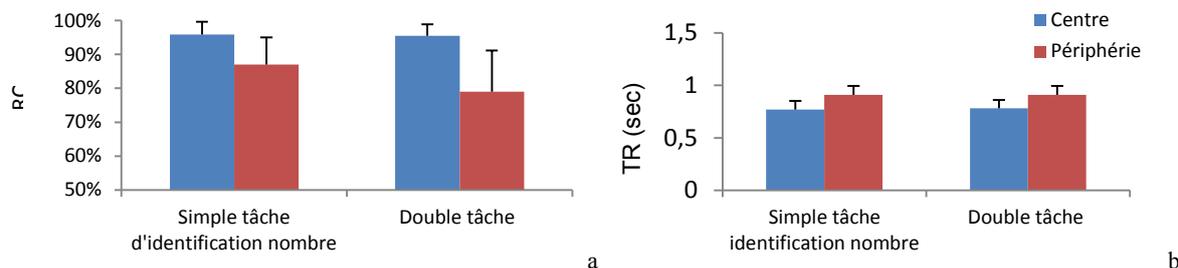
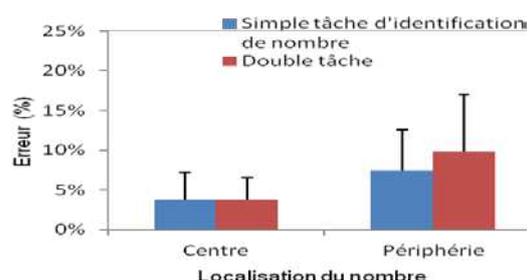


Figure 18. Performances à la tâche de jugement de parité en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre : a. pourcentage de réponses correctes ; b. temps de réponse.



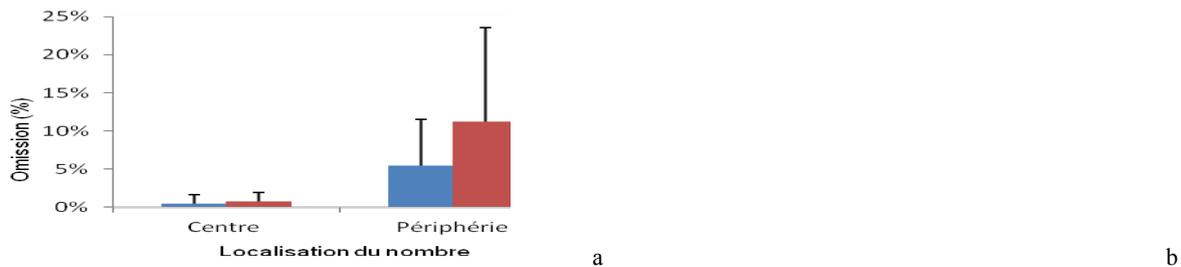


Figure 19. Performances à la tâche de jugement de parité en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre : a. pourcentage d'omissions ; b. pourcentage d'erreurs.

3.4.3.4. Effets de l'expérience de conduite

Les performances obtenues en fonction de l'expérience du conducteur sont présentées dans le tableau 10.

Tableau 10. Performances de conduite en fonction de l'expérience du conducteur. (Ecart type entre parenthèse).

	G1	G2	G3	G4	G5	F
SDLP (cm)	16,9 (3,8)	13,9 (3,2)	14,4 (3,1)	15,2 (5)	12,5 (3)	F (4, 62)=3,66, p < 0,05
Vitesse max ⁸ (km/h)	4,7 (1,7)	5,5 (2,3)	5,1 (2,6)	4,9 (2,2)	3,7 (2,1)	F (4, 62) = 2,34, p = 0,065
Temps de freinage (sec)	11,6 (4,6)	9,7 (3)	8,2 (2,8)	9,4 (4,1)	8,1 (3,2)	F (4, 62) = 6,45, p < 0,05
Temps de décélération	10,4 (2,1)	10,3 (2)	8,9 (1,7)	10 (2,5)	10,1 (2,1)	F (4, 62) = 3,09, p < 0,05
Réponses correctes (%)	86,1 (11,1)	89,7 (11,1)	89,2 (12,4)	90 (8,4)	91,5 (7,3)	F (4, 62) = 1,98, p = 0,10

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- Effets significatifs de l'expérience de conduite sur :

- *les déviations standards de position latérale du véhicule sur la voie* (SDLP) (F (4, 62) = 3,66, p < 0,05) (voir fig 20).

Les conducteurs novices ayant suivi un AT (G1 : M = 16,9 cm ; SD = 3,8) ont des SDLP supérieurs à ceux des conducteurs expérimentés et âgés (G5 : M = 12,5 cm ; SD = 3) (p < 0,05). Autrement dit, les conducteurs novices ayant suivi un AT (G1) présentent des difficultés à maintenir une trajectoire stable sur la route

⁸Les vitesses maximum et minimum sont calculées en référence à la vitesse du véhicule lièvre. Les conducteurs novices ayant suivi un apprentissage anticipé à la conduite adoptent une vitesse supérieure à celle du véhicule lièvre de 5,5km/h. Par exemple si le véhicule lièvre roule à 50km/h, le conducteur adopte une vitesse maximum de 55,5 km/h. Le conducteur a eu pour consigne de ne jamais dépasser le véhicule lièvre.

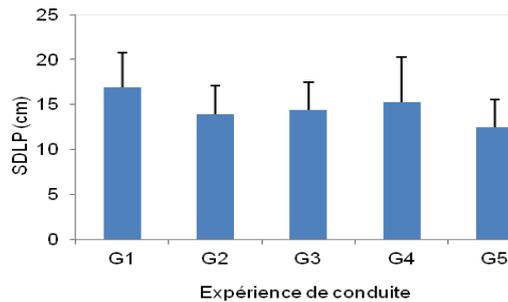


Figure 20. Déviation standard de la position latérale en fonction de l'expérience de conduite.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- le moment d'appui sur la pédale de frein ($F(4, 62) = 6,45, p < 0,05$) (voir fig. 21).

Suite à un freinage du véhicule lièvre, les conducteurs novices ayant suivi un AT (G1 : M = 11,6 sec ; SD = 4,6) mettent plus de temps à freiner que les conducteurs novices âgés de 21 ans (G3 : M = 8,2 sec ; SD = 2,8) ($p < 0,05$) et les conducteurs expérimentés et âgés (G5 : M = 8,1 sec ; SD = 3,2) ($p < 0,05$).

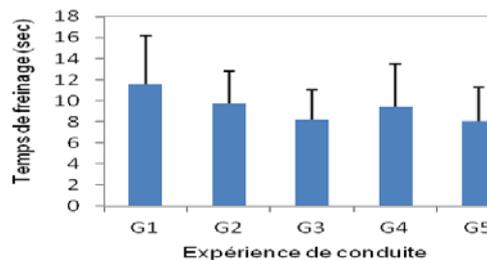


Figure 21. Temps de freinage en fonction de l'expérience de conduite.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté de 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- le temps mis pour lâcher l'accélérateur ($F(4, 62) = 3,09, p < 0,05$) (voir fig. 22).

Suite à un freinage du véhicule lièvre, les conducteurs novices âgés de 18 ans quelle que soit leur formation (G1 : M = 10,4 sec, SD = 2,1 et G2 : M = 10,3 sec, SD = 2) mettent plus de temps à lever le pied de l'accélérateur que les conducteurs novices âgés de 21 ans (G3 : M = 10,1 sec, SD = 2,1) ($p < 0,05$). Toutefois les conducteurs novices (G1, G2 et G3) ne se différencient pas des conducteurs expérimentés, quel que soit leur âge (G4 et G5) ($p > 0,05$).

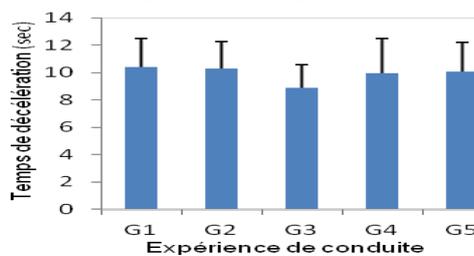


Figure 22. Temps de décélération en fonction de l'expérience de conduite.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- Effet tendanciels de l'expérience de conduite sur :

- **la vitesse maximum** ($F(4, 62) = 2,34, p = 0,065$) (voir fig 23).

Les conducteurs novices ayant suivi un AAC ont tendance à adopter une vitesse maximum plus élevée que les conducteurs expérimentés et âgés (respectivement G2 : $M = 5,5 \text{ km/H}$; $SD = 2,3$ et G5 : $M = 3,7 \text{ km/H}$; $SD = 2$) ($p < 0,05$).

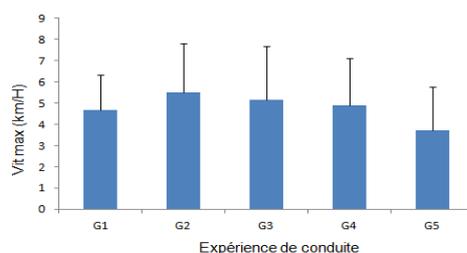


Figure 23. Vitesse maximum en fonction de l'expérience de conduite.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- **le pourcentage de réponses correctes** ($F(4, 62) = 1,98, p = 0,10$).

Les conducteurs novices ayant suivi un AT (G1 : $M = 86 \%$; $SD = 11$) ont tendance à avoir un pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire inférieur à celui des conducteurs expérimentés âgés de 25-35 ans (G5 : $M = 92 \%$; $SD = 2$) ($p < 0,05$).

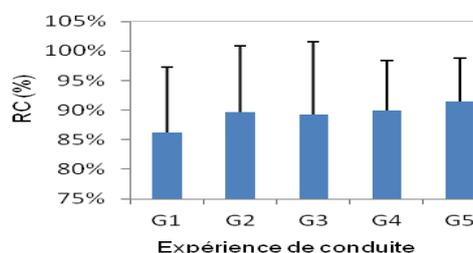


Figure 24. Pourcentage de réponses correctes en fonction de l'expérience de conduite.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

3.4.3.4.1. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la tâche ?

L'ANOVA à mesures répétées ne met pas en évidence d'interaction significative entre la tâche (simple vs double) et l'expérience du conducteur (novice vs expérimenté) suggérant que les performances des conducteurs novices ne sont pas plus affectées par la réalisation d'une tâche secondaire que les conducteurs expérimentés.

3.4.3.4.2. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule ?

- Interactions significatives entre l'expérience de conduite et la complexité des séquences sur :

- **la position latérale moyenne du véhicule sur la voie** ($F(4, 62) = 2,78, p < 0,05$) (voir fig. 25).

Les conducteurs novices âgés de 18 ans ayant suivi un AT (G1) et ceux âgés de 21 ans (G3) se situent plus à gauche de la voie lors des séquences peu complexes (respectivement G1 : $M = 132,5$ cm ; $SD = 14,8$ et G3 : $M = 133,4$ cm ; $SD = 17,6$) que lors des séquences complexes (respectivement $M = 137$ cm ; $SD = 14,1$ et $M = 138$ cm ; $SD = 17,2$) ($p < 0,05$).

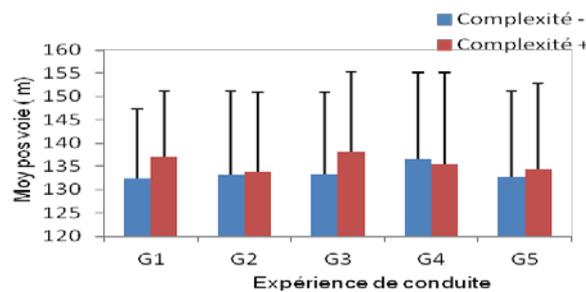


Figure 25. Position moyenne du véhicule sur la voie en fonction de l'expérience du conducteur et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- **les déviations standard de position latérale** du véhicule sur la voie (SDLP) ($F(4, 62) = 2,5027, p < 0,05$) (voir fig. 28).

Seuls les conducteurs novices de 18 ans ayant suivi un AT (G1) sont sensibles à la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : ils ont des SDLP supérieures lors des séquences complexes ($M = 18$ cm; $SD = 4$) que lors des séquences peu complexes ($M = 15,9$ cm; $SD = 3,5$) ($p < 0,05$).

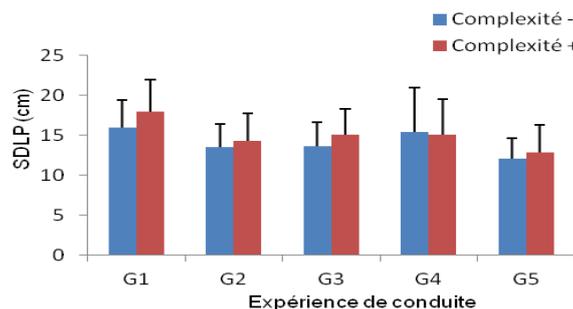


Figure 26. Déviation standard de la position latérale du véhicule en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la séquence de la tâche de suivi.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

- **le temps passé hors de la voie** ($F(4, 62) = 2,80, p < 0,05$) (voir fig. 26)

Seuls les novices ayant suivi un AAC (G2) passent plus de temps hors des limites de la voie lors des séquences peu complexes ($M = 5,6$ sec; $SD = 12,5$) que lors des séquences complexes ($M = 2,3$ sec; $SD = 5$) ($p < 0,05$). De plus, lorsque la tâche de suivi de véhicule est faiblement complexe, les conducteurs novices ayant suivi un AAC (G2) passent plus de temps hors des limites de la voie que les conducteurs expérimentés de 25-35ans (G5 : $M = 1,6$ sec ; $SD = 4,2$) ($p < 0,05$).

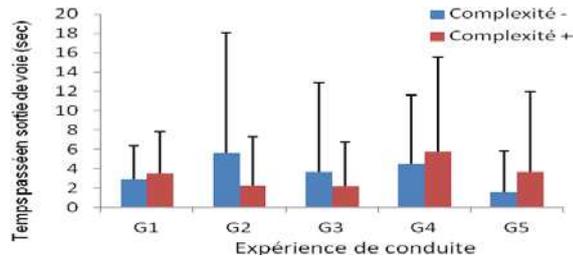


Figure 27. Temps moyen passé en sortie de voie en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule (faible vs forte).

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

• Interaction tendancielle entre la tâche, la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule et l'expérience de conduite sur :

- *le temps passé hors de la voie* ($F(4, 62) = 2,50, p < 0,05$).

Lors des séquences peu complexes, les conducteurs novices ayant suivi un AAC (G2) passent plus de temps hors des limites de la voie en tâche simple ($M = 9,2$ sec ; $SD = 16,9$) qu'en double tâche ($M = 2$ sec ; $SD = 3$) ($p < 0,05$) (voir fig. 27).

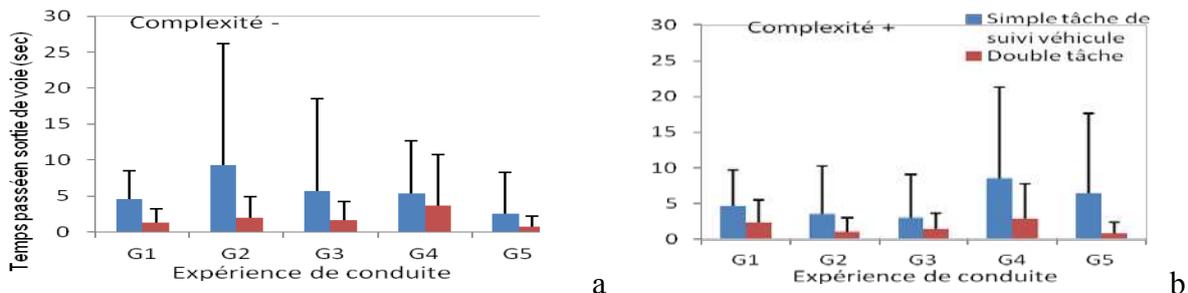


Figure 28. Temps passé en sortie de voie en fonction de l'expérience de conduite, de la tâche : a. lors des séquences peu complexes ; b. lors des séquences complexes

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans.

3.4.3.4.3. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la localisation de présentation du nombre ?

• Interaction significative entre l'expérience de conduite, la tâche et la localisation de présentation du nombre sur :

- *le temps de réponse* ($F(4, 62) = 3,42, p < 0,05$) (voir fig. 29).

Que ce soit en tâche simple de jugement de parité de nombre ou en double tâche, l'ensemble des conducteurs met plus de temps à identifier un nombre lorsqu'il est présenté en périphérie que lorsqu'il est présenté au centre de la scène ($p < 0,05$). Toutefois, seuls les conducteurs novices de 18 ans ayant suivi un AAC (G2) sont perturbés par la double tâche quand le nombre apparaît en vision centrale. En effet, les conducteurs novices de 18 ans ayant suivi un AAC mettent plus de temps pour identifier un nombre en vision centrale lors de la double tâche ($M = 0,77$ sec; $SD = 0,11$) que lors de la tâche simple de jugement de parité de nombre ($M = 0,73$ sec ; $SD = 0,08$) ($p < 0,05$).

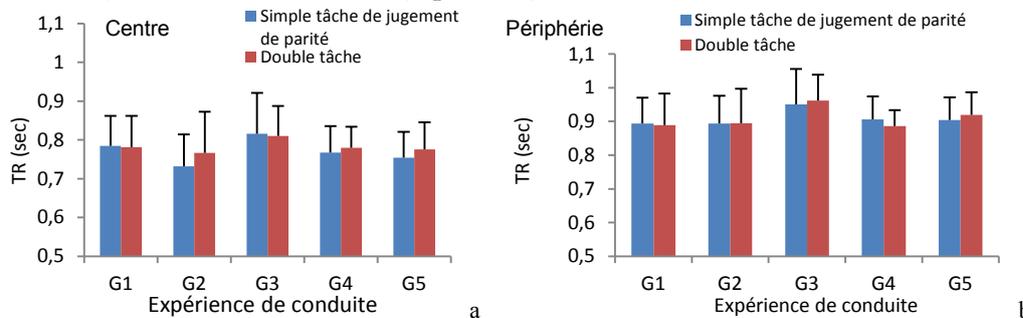


Figure 29. Temps de réponse à la tâche de jugement de parité en fonction de l'expérience de conduite et de la tâche : a. au centre ; b. en périphérie.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

• Interaction tendancielle entre l'expérience de conduite, la tâche et la localisation de présentation du nombre sur :

- *le pourcentage d'erreurs* ($F(4, 62) = 2,18, p = 0,082$) (voir fig. 30).

Lorsque le nombre est présenté en périphérie, les conducteurs novices âgés de 21 ans (G3) font plus d'erreurs en double tâche ($M = 13,3\%$; $SD = 12,4$) qu'en tâche simple ($M = 6,7\%$; $SD = 4,9$) ($p < 0,05$). Ces résultats ne se retrouvent pas quand le nombre est présenté au centre de la scène visuelle ($p > 0,05$). De plus, en double tâche, seuls les conducteurs novices de 21 ans (G3) sont sensibles à la localisation de présentation du nombre. Autrement dit, lorsqu'ils sont placés en double tâche, ils font plus d'erreurs quand le nombre est présenté en périphérie ($M = 13,3\%$; $SD = 12,4$) que lorsqu'il est présenté au centre ($M = 2,2\%$; $SD = 1,5$) ($p < 0,05$). Ce résultat ne se retrouve pas en tâche simple de jugement de parité de nombre ($p > 0,05$).

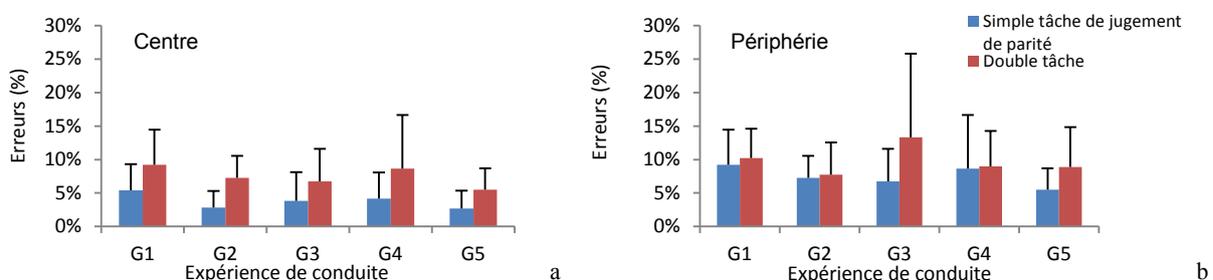


Figure 30. Pourcentage d'erreurs en fonction de l'expérience de conduite et de la tâche : a. au centre ; b. en périphérie.

G1 : Novice 18 ans Apprentissage Traditionnel / G2 : Novice 18 ans Apprentissage Anticipé / G3 : Novice 21 ans / G4 : Expérimenté 21 ans / G5 : Expérimenté 25-35 ans

En résumé, un effet significatif clair de l'expérience de conduite sur les performances de conduite a été démontré. Les conducteurs novices âgés de 18 ans ont des performances de conduite inférieures à celles des conducteurs expérimentés âgés de 25-35 ans. De plus, des différences sont constatées en fonction du type d'apprentissage à la conduite. Les jeunes conducteurs novices ayant suivi un apprentissage traditionnel se caractérisent par des difficultés à maintenir une trajectoire stable sur la route, une augmentation du temps de décélération et freinage ainsi qu'une tendance à faire moins de réponses correctes à la tâche secondaire que les conducteurs expérimentés âgés de 25-35 ans. En revanche, les conducteurs novices ayant suivi un apprentissage anticipé à la conduite ont tendance à adopter une vitesse plus élevée que les conducteurs expérimentés âgés de 25-35 ans. Par ailleurs, lors des séquences peu complexes en simple tâche, ils passent plus de temps hors des limites de la voie que les autres groupes de conducteur. Tout se passe comme si, durant la période de conduite accompagnée, le conducteur avait pris confiance en ses capacités, au point parfois d'adopter des comportements risqués.

En plus des effets clairs de l'expérience de conduite, ce travail a permis de mettre en évidence des effets liés à l'âge. En effet, les conducteurs novices âgés de 18 ans mettent plus de temps à réagir à un freinage du véhicule liévre que les conducteurs novices âgés de 21 ans. Toutefois, des erreurs dans le traitement de l'information effectuée par les novices de 21 ans sont mises en évidence, puisqu'ils font plus d'erreurs de jugement en double tâche qu'en simple tâche, notamment lorsque l'information est présentée en périphérie. Ces résultats ne se retrouvent pas chez les novices de 18 ans.

3.4.3.4. Auto évaluations

Les auto-évaluations de la performance du conducteur et de la difficulté en fonction de la tâche sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11. Auto évaluation de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction de la tâche. (Ecart type entre parenthèse).

	Tâche simple de suivi de véhicule	Tâche simple de jugement de parité	Double tâche	F
Performance	5,4 (1,8)	6,2 (1,6)	4,6 (1,6)	F (2, 124) = 21,76, p < 0,05
Difficulté	5 (2,2)	5,3 (1,9)	7,5 (1,7)	F (2, 124) = 48,02, p < 0,05

Auto-évaluation de la performance du conducteur:

Les conducteurs auto-évaluent leur performance comme étant meilleure durant les simples tâches que durant la double tâche ($p < 0,05$). Ils s'auto-évaluent également comme étant meilleurs en tâche simple de jugement de parité de nombre qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$). Aucune différence n'est constatée en fonction de l'expérience du conducteur ($F(4, 62) = 0,97, p = 0,42$).

Auto-évaluation de la difficulté de la tâche :

Les conducteurs évaluent la double tâche ($M = 7,5$; $SD = 1,7$) comme plus difficile que les tâches simples (STI : $M = 5,3$; $SD = 1,9$ et STS : $M = 5$; $SD = 2,2$) ($F(2, 124) = 48,02, p < 0,05$). Aucune différence n'est constatée en fonction de l'expérience du conducteur ($F(4, 62) = 0,23, p = 0,92$).

3.4.3.5. Récapitulatif des résultats :

Effets de la double tâche :

- Dégradation des performances de conduite :
 - Difficulté de régulation de vitesse
 - Augmentation du temps de régulation de vitesse
 - Réduction de la vitesse
 - Difficulté de régulation de distance
 - Augmentation de la variabilité de la DIV)
 - Allongement des DIV
 - Déviation de la position latérale du véhicule sur la voie vers la droite
- Dégradation des performances à la tâche secondaire :
 - Chute du pourcentage de réponses correctes
 - Augmentation du pourcentage d'erreurs en vision périphérique pour les conducteurs novices de 21ans.
 - Augmentation du pourcentage d'omissions en vision périphérique.
 - Augmentation du TR en vision centrale pour les conducteurs novices de 18 ans ayant un AAC.
- Auto-évaluations :
 - Performance : ST jugement de parité > ST suivi de véhicule > DT
 - Difficulté : DT > ST jugement de parité
DT > ST suivi véhicule
ST jugement de parité = ST suivi véhicule

Légende :

ST = simple tâche

DT = double tâche

DIV = distance inter-véhiculaire

SDLP = Déviation standard moyenne de la position latérale du véhicule sur la voie

TR = Temps de réponse

AT = apprentissage traditionnel

AAC = apprentissage anticipé à la conduite

Effets des séquences complexes :

- Dégradation des performances de conduite :
 - Difficulté de régulation de vitesse,
 - Augmentation du temps de régulation de vitesse, accentuée en DT
 - Ralentissement du temps mis à lâcher la pédale d'accélérateur
 - Ralentissement du temps mis à appuyer sur la pédale de frein
 - Difficulté de régulation de distance
 - Variabilité de la DIV multipliée par 2
 - Réduction des DIV, accentuée en DT
 - Difficulté de gestion de la position du véhicule sur la voie
 - Déviation de la position latérale du véhicule sur la voie vers la droite pour les conducteurs novices (18 ans avec AT et 21 ans).
 - Augmentation des SDLP pour les novices de 18 ans ayant suivi un AT.

Effet de la présentation de l'information en périphérie de la scène :

- Dégradation des performances à la tâche secondaire
 - Augmentation du temps de réponse, accentuée en DT
 - Augmentation du pourcentage d'omissions
 - Réduction du pourcentage de réponses correctes, accentuée en DT.
 - Augmentation du pourcentage d'erreurs pour les conducteurs novices de 21 ans.

Effet de l'expérience de conduite

Pour les conducteurs novices de 18 ans ayant un AT :

- Dégradation des performances de conduite :
 - Difficulté de gestion de la position du véhicule sur la voie

- Augmentation des SDLP, accentuée lors des séquences complexes
- Difficulté de régulation de vitesse
 - Augmentation du temps mis pour lâcher l'accélérateur et appuyer sur le frein
 - Augmentation de la vitesse
- Dégradation des performances à la tâche secondaire :
 - Réduction du pourcentage de réponses correctes

Pour les conducteurs novices de 18 ans ayant suivi un AAC :

- Perturbations des performances de conduite :
 - Difficulté de régulation de vitesse
 - Augmentation du temps mis à lâcher l'accélérateur
 - Augmentation de la vitesse
 - Difficulté de gestion de la position du véhicule sur la voie
 - Augmentation du temps passé hors des limites de la voie lors des séquences peu complexes de la simple tâche de suivi de véhicule.
- Dégradation des performances à la tâche secondaire :
 - Augmentation du TR en vision centrale lors de la DT.

Pour les conducteurs novices de 21 ans :

- Perturbations du comportement de conduite :
 - Déviation de la position latérale du véhicule sur la voie vers la droite lors des séquences complexes
- Dégradation des performances à la tâche secondaire :

Augmentation du nombre d'erreur en DT quand l'information est présentée en périphérie.

3.5. Discussion

D'une part, la littérature a identifié l'impact négatif de la réalisation d'une tâche secondaire sur les performances du conducteur. D'autre part, les recherches réalisées auprès de conducteurs novices révèlent un manque de compétences lié à des difficultés d'automatisation de la tâche (Mayhew et Simpson, 1995 cités par Engström *et al*, 2003 ; Page *et al*, 2004) ainsi que l'adoption de comportements plus risqués que les conducteurs expérimentés, plus âgés (Higelé et Hernja, 2008 ; Shinar *et al*, 1998). Ainsi, il était intéressant de tester l'impact de la réalisation d'une tâche secondaire à la conduite sur le comportement de conducteurs novices et expérimentés, plus ou moins âgés. Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle les performances de conduite se dégradent en double tâche. De plus, l'interférence liée à la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite devrait être plus élevée pour les conducteurs novices que pour les expérimentés. Pour tester cette hypothèse, nous avons comparé les performances de conducteurs plus ou moins expérimentés et plus ou moins âgés lors de la réalisation d'une double tâche à celles obtenues lors des tâches simples de référence.

Double tâche & Interférence

Conformément à notre hypothèse, **les conducteurs présentent une dégradation des performances de conduite en double tâche** qui se traduit par des difficultés de régulation de vitesse et de distance. Ces résultats sont en accord avec les nombreuses recherches utilisant un

protocole de double tâche (Beilock, Carr, Mac Mahon et Starkes, 2002 ; Beilock, Wierenga, Carr, 2002 ; Hahn *et al*, 2011) et en particulier celles qui traitent de l'influence d'une tâche secondaire pendant la conduite automobile (Bian, Kang et Andersen, 2010 ; Horberry *et al*, 2006 ; McKeever, Schultheis, Padmanaban et Blasco, 2012). Ainsi, l'usage du téléphone mobile, a été étudié dans des recherches utilisant une tâche de suivi de véhicule sur simulateur de conduite (Alm et Nilsson, 1995 ; Brookhuis et De Waard, 1994). Elles indiquent une dégradation des performances lors d'une conversation téléphonique qui se traduit par une augmentation de la variabilité de la DIV et du temps de réaction au freinage (Lamble, Kauranen, Laakso et Summala, 1999 ; Strayer, Drews, Johnston, 2003). La dégradation des compétences de régulation de vitesse et de distance s'explique par une distraction de l'attention du conducteur par la tâche secondaire qui capture les ressources préalablement allouées à la tâche de suivi. La répartition des ressources attentionnelles du conducteur entre les deux tâches est inadéquate, et ne permet pas de préserver les performances de conduite. Ces résultats sont en accord avec l'évaluation subjective des conducteurs au sujet de la difficulté de la tâche : ils évaluent la double tâche comme étant plus difficile que les tâches simples de référence. Comme le prédisait le modèle de Fuller (2005), les conducteurs tentent alors de réduire la difficulté en mettant en place des mécanismes compensatoires tels que l'allongement des DIV et la réduction de la vitesse. Ces mécanismes compensatoires ont pour objectif de maintenir les performances dans des limites acceptables tout en évitant de surcharger le système de traitement de l'individu (Hoc et Amalberti, 2007). Toutefois, tous les indicateurs du comportement de conduite ne sont pas sensibles à la distraction du conducteur par une tâche secondaire. En effet, notre expérience n'a pas mis en évidence de diminution des performances de maintien de la position latérale du véhicule sur la voie lors de la double tâche. De précédentes recherches suggèrent également que ces compétences sont préservées, notamment lors de la réalisation d'une tâche secondaire (Alm et Nilsson, 1995 ; Damn *et al*, 2011 ; Pereira, Hamama, Bruyas et Simoes, 2008,) et seraient même améliorées lorsque la tâche principale de conduite est particulièrement monotone (Atchley et Chan, 2010 ; Liu et Ou, 2011).

Par ailleurs, un effet d'interférence réciproque lorsque l'attention du conducteur est partagée entre une tâche de conduite et une tâche secondaire a été mis en évidence pour tous les groupes de conducteurs. En effet, **en double tâche, les performances à la tâche secondaire sont diminuées** comparativement à la simple tâche de jugement de parité de nombre, et ceci pour tous les conducteurs. Ils font moins de réponses correctes quelle que soit la localisation du nombre, ainsi que plus d'omissions en vision périphérique. Hamama (2010) montrait une recherche d'informations moins active lors de la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite. Ces

résultats se rapprochent également des recherches montrant une réduction du temps passé à regarder la route ainsi qu'une augmentation du temps des fixations oculaires à l'intérieur de l'habitacle, notamment pour les conducteurs novices (Chan *et al*, 2010 ; Hosking *et al*, 2009 ; Patten *et al*, 2006). Les modifications des stratégies visuelles de recherche d'information lors de la réalisation d'une double tâche peuvent expliquer en partie la dégradation des performances du conducteur. Il serait intéressant d'inclure dans des recherches ultérieures une mesure des mouvements oculaires pour vérifier l'hypothèse d'une réduction du champ visuel en double tâche. La diminution des performances à la tâche secondaire démontrée dans notre expérience peut également être en lien avec les difficultés des conducteurs à percevoir, détecter et identifier les dangers (Deery, 1999 ; Sagberg et Bjornskau, 2006). En double tâche, les conducteurs présentent des performances de reconnaissance en mémoire des panneaux de signalisation inférieures à celles présentées en simple tâche de conduite (Strayer *et al*, 2003) et une dégradation des performances de détection de changements de couleur de feu de signalisation (Andersen, Ni, Bian et Kang, 2011). Ces travaux suggèrent que la réalisation d'une tâche secondaire dégrade les performances du conducteur en capturant l'attention dans une tâche cognitive autre que celle immédiatement associée à la conduite. Ces résultats peuvent être interprétés en termes de réduction de la distribution de l'attention spatiale (Andersen *et al*, *ibid.* ; Bian *et al*, 2010) et de phénomènes de cécité attentionnelle (Strayer et Drews, 2007).

Par ailleurs, **les novices sont particulièrement affectés par la réalisation d'une tâche secondaire.** L'absence d'interaction significative entre la tâche (simple vs double) et l'expérience de conduite sur l'ensemble des mesures de la performance semblent indiquer que l'interférence liée à la réalisation d'une double tâche n'est pas plus importante pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés. Toutefois, il semble que le lien entre interférence liée à la réalisation d'une double tâche et inexpérience de conduite soit modulé par la localisation de présentation de l'information dans le champ visuel du conducteur. En effet, les conducteurs novices âgés de 18 ans et ayant suivi un AAC (G2) mettent plus de temps à juger la parité du nombre qui apparaît au centre du champ visuel en double tâche qu'en simple tâche. Ces difficultés ne se retrouvent pas lorsque le nombre est présenté en périphérie de la scène. De plus, la vitesse de traitement de l'information de l'ensemble des autres conducteurs n'est pas perturbée par la réalisation d'une double tâche. Ces résultats sont en accord avec les recherches qui montrent un lien entre expérience de conduite et temps de détection des dangers. En effet, les conducteurs novices mettent plus de temps pour identifier et réagir à un danger que les conducteurs expérimentés (Quimby et Watts, 1981 ; Summala, 1987, cité par Page *et al*, 2004). De plus, le temps de détection d'une cible augmente

lorsque le conducteur doit réaliser plusieurs tâches simultanément (Amado et Ulupinar, 2005 ; Bian *et al*, 2010 ; Patten *et al*, 2006). L'augmentation du temps de réponse, spécifique aux conducteurs novices ayant suivi un AAC peut également être expliquée, au moins en partie, par le fait qu'ils adoptent une vitesse plus élevée que tous les autres groupes de conducteurs. Il est donc naturel que lorsque la scène routière défile plus rapidement, l'actualisation mentale des éléments visuels présents dans la scène soit plus fréquente et la vitesse de traitement de l'information pertinente est ralentie. Par ailleurs, lorsqu'un nombre apparaît en vision périphérique, les conducteurs novices âgés de 21 ans (G3) font plus d'erreurs en double tâche qu'en simple tâche. Ce résultat ne se retrouve pas lorsque le nombre apparaît au centre du champ visuel et prouve ainsi que les erreurs de traitement de l'information des novices lors de la réalisation d'une tâche secondaire sont liées à l'excentricité de la cible en vision périphérique. En résumé, au vu de la diversité de ces résultats, les traitements visuo-spatiaux effectués par les conducteurs novices sont relativement instables. Enfin, l'absence d'interaction claire entre double tâche et inexpérience de conduite s'explique par une grande hétérogénéité des performances entre les cinq groupes de conducteurs ainsi que par un manque de complexité perceptive de la tâche. L'interférence liée à la réalisation d'une tâche secondaire est corrélée positivement à la complexité perceptive de l'environnement de conduite (Lee, Caven, Haake et Brown, 2001).

Une de nos hypothèses secondaires concernait le niveau de complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule. Ce facteur est contrôlé à travers des variations de la vitesse du véhicule lièvre qui pouvaient être soit de faibles amplitudes (séquences peu complexes) soit de fortes amplitudes (séquences complexes). Nous supposons une dégradation des performances de conduite lors des séquences complexes comparativement aux séquences peu complexes de la tâche de suivi de véhicule. Nos résultats valident totalement cette hypothèse puisque l'ensemble des mesures de conduite évaluées (distance, vitesse, position) met en évidence **une dégradation des performances de conduite lors des séquences complexes, et ceci de manière plus marquée en double tâche**. Il semble évident que les perturbations liées à la complexité intrinsèque d'une tâche simple, soient retrouvées de manière accentuée dans le cadre d'une double tâche. Ces résultats sont en accord avec les précédentes recherches sur la charge de travail et la complexité de la tâche qui indiquent des perturbations dans le contrôle de l'activité (Amalberti, 2001a ; Chanquoy *et al*, 2007) notamment dans le cadre d'activité dynamique complexe (Amalberti, 2001b ; Amalberti et Hoc, 1998 ; Hoc et Amalberti, 2003, 2007 ; Hoc et Cellier, 2001). En effet, de précédentes expériences ont manipulé la charge de travail lors d'une tâche de suivi de véhicule à travers des variations du véhicule lièvre de faibles et fortes amplitudes (Andersen *et al*, 2011 ; Bian *et al*, 2010). Les auteurs ont conclu à une

dégradation des compétences de régulation de distance et de vitesse lorsque la charge de travail augmente. Ces résultats se confirment dans la recherche de Horberry *et al.* (2006) qui met en évidence une dégradation des compétences de régulation de vitesse lorsque la complexité de l'environnement augmente (augmentation du trafic en sens inverse).

Par ailleurs, **la dégradation des performances de conduite** (maintien de la position du véhicule sur la voie) **lors d'une tâche complexe est plus grande pour les conducteurs novices** (G1 et G3) **que pour les conducteurs plus expérimentés** (G2, G4 et G5). Au sujet de la capacité du conducteur à maintenir une position stable sur la voie, les conducteurs novices AAC semblent avoir des performances comparables à celles des expérimentés. Les 3000 km effectués durant l'AAC ont pu être suffisants pour acquérir les compétences nécessaires au maintien d'une position latérale stable sur la voie. Ce résultat est en lien avec les recherches qui indiquent une acquisition plus rapide des compétences de maîtrise et de contrôle du véhicule que des compétences perceptives et cognitives (Engström *et al.*, 2003 ; Hall et West, 1996). Ce résultat est en accord avec la réduction du risque d'accident avec l'expérience, et notamment ceux liés à une perte de contrôle du véhicule (McCartt *et al.*, 2003 ; OCDE, 2006).

En résumé, la dégradation des performances lors d'une tâche complexe et/ou lors de la réalisation d'une double tâche s'explique par une augmentation des exigences de la tâche (Fuller, 2005). Dans le cadre d'une augmentation de la complexité intrinsèque de la tâche, le conducteur doit mobiliser une grande quantité de ressources pour réagir rapidement et mener à bien la tâche. En revanche, dans le cadre de la double tâche, les ressources du conducteur sont partagées entre la tâche principale de conduite et la tâche secondaire. Autrement dit, certaines ressources initialement investies dans la tâche principale de conduite, vont devoir être allouées à la tâche secondaire pour mener à bien la double tâche (Kahneman, 1973). L'augmentation des exigences de la tâche liée à sa complexité intrinsèque et/ou à la réalisation d'une tâche secondaire est telle qu'elle dépasse la capacité de ressources disponibles du conducteur, qui se retrouve alors dans une situation de surcharge, et dans l'incapacité de répartir adéquatement ses ressources attentionnelles (Chanquoy *et al.*, 2007).

Par ailleurs, **certaines dégradations du comportement du conducteur sont spécifiques à la tâche simple de suivi de véhicule**. Les conducteurs mettent plus de temps pour décélérer et atteindre la distance de référence avec le véhicule lièvre en simple tâche de suivi de véhicule qu'en double tâche. Ces résultats sont comparables avec ceux de Mitsopoulos-Rubens, Triggs et Regan

(2007) qui montrent une diminution des compétences d'ajustement de distance lors d'une tâche simple de suivi de véhicule. De plus, dans notre expérience, en simple tâche de suivi, les conducteurs présentent plus de difficulté pour maintenir une trajectoire stable sur la route et franchissent plus souvent les lignes de leur voie de circulation, passant ainsi plus de temps sur une voie où des véhicules sont susceptibles de survenir en face. Ces comportements, spécifiques à la tâche simple de suivi de véhicule, peuvent traduire une impatience de la part du conducteur à devoir rester derrière le véhicule lièvre et à respecter la consigne d'interdiction de dépasser. Ces résultats sont en lien avec ceux de Lewis-Evans, De-Waard et Brookhuis, (2011) qui montrent que les conducteurs ont des difficultés à maintenir une vitesse inférieure à celle à laquelle ils choisiraient librement de conduire. De plus, la complexité de l'environnement est corrélée positivement à la dégradation des performances, et ceci de manière non uniforme à travers les différentes mesures (Lee, Caven, Haake et Brown, 2001). Or, la tâche de suivi de véhicule utilisée dans cette recherche est réalisée dans un environnement visuel appauvri pendant une durée totale de 15 min. L'intérêt de cet environnement visuel réside dans le contrôle des divers éléments susceptibles d'attirer l'attention du conducteur. Cependant la monotonie d'une tâche, caractérisée par un design visuel appauvri est susceptible d'engendrer une baisse de la vigilance et une dégradation des performances de conduite (Campagne, Pebayle et Muzet, 2004 ; Larue, Rakotonirainy et Pettitt, 2011). Dans ce sens, de récentes recherches ont même mis en évidence une influence positive d'une tâche secondaire durant une tâche de conduite automobile monotone. Les conducteurs présentent alors une amélioration des performances de maintien de la position du véhicule lorsqu'ils doivent réaliser une tâche secondaire verbale (Atchley et Chan, 2011). Au vu de ces résultats, il semble donc que la tâche simple de suivi de véhicule doit être considérée comme une tâche à part entière plutôt que comme une mesure de référence.

La diversité des résultats nous permet de confirmer nos hypothèses sur la majorité des indicateurs de conduite, notamment ceux concernant les mesures de vitesse et de distance adoptées avec le véhicule lièvre. Toutefois, les mesures de la position du véhicule sur la voie semblent plus sensibles à la monotonie de la simple tâche de suivi qu'à la difficulté de la double tâche. Ceci témoigne de la difficulté à appréhender le comportement de conduite à travers de multiples mesures qui sont susceptibles d'évoluer différemment en fonction à la fois des caractéristiques de la tâche et de celles du conducteur. Il apparaît donc essentiel de définir et de valider, de manière consensuelle, les critères qui permettent d'appréhender les diverses composantes de la dynamique du véhicule.

Par ailleurs, **les mesures objectives et les mesures subjectives** (DBQ et auto-évaluations) **semblent liées** puisque la dégradation des performances en double tâche se traduit à la fois par une augmentation du score de difficulté de la tâche et une réduction du score de performance à la tâche. Les conducteurs semblent donc conscients de la dégradation de leurs performances lors de la double tâche. Ces résultats sont en accord avec les études qui indiquent une augmentation de la charge mentale lors de la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite (Alm et Nilsson, 1995 ; Jahn, Oehme, Krems et Gelau, 2005) et concordent avec les précédentes études qui montrent un lien entre les mesures subjectives et les mesures objectives obtenues sur simulateur de conduite (Horberry *et al*, 2006). Dans notre recherche, l'évaluation des performances et de la difficulté de la tâche est réalisée suite à la passation de la tâche expérimentale sur simulateur. Il serait intéressant que les conducteurs prédisent à l'avance leurs performances afin d'observer si la dégradation de la performance peut être modérée par la mise en place de mécanismes compensatoires liés à la conscience de la situation. En effet, une recherche au sujet des stratégies de prélèvement d'informations dans l'environnement indique que les conducteurs sont capables de mettre en place des mécanismes compensatoires dès lors qu'ils sont informés explicitement de leurs déficits et dysfonctionnements (Chapman *et al*, 2002). Toutefois, le lien entre mesures objectives et subjectives est controversé car d'autres recherches ont montré que les scores d'auto-évaluations individuelles n'étaient que peu ou pas corrélés avec les performances objectives recueillies sur simulateur de conduite, notamment dans le cas de l'évaluation de la dégradation des performances liées à une tâche secondaire (Horrey *et al*, 2008 ; Wang, Lu, Xiao et Lu, 2010). Les auto-évaluations nous renseignent cependant sur la représentation du conducteur au sujet de ses propres capacités à gérer la situation.

Vision périphérique & Double tâche

Nous avons également manipulé la localisation de présentation d'informations de la tâche secondaire qui pouvait apparaître soit au centre, soit en périphérie de la scène visuelle. Nous supposons une dégradation des performances en périphérie se traduisant notamment par une dégradation de la vitesse de traitement de l'information ainsi qu'une réduction de la précision des réponses. Cette dégradation devrait être particulièrement importante lorsque le conducteur est placé dans une situation avec des exigences élevées, comme la condition de double tâche.

Nos résultats valident totalement notre hypothèse puisqu'on note **une dégradation de la vitesse de traitement de l'information** se traduisant par une augmentation du temps de réponse, ainsi qu'une **détérioration de la précision de réponse** (réduction du pourcentage de réponses correctes,

augmentation du pourcentage d'erreurs et d'omissions) **en vision périphérique**. Ces résultats reproduisent les résultats classiques de diminution des performances de détection et d'identification liés à l'excentricité de la cible (Boucart, Fabre-Thorpe Thorpe, Arndt et Hache 2001 ; Thorpe, Gegenfurtner, Fabre-Thorpe et Bulthoff, 2001) et peuvent notamment s'expliquer par les caractéristiques anatomiques et fonctionnelles du système visuel humain. La rétine de l'homme est composée de la fovéa (au centre) et d'une partie périphérique dont la structure et la fonction diffèrent. Une des conséquences fonctionnelles de cette différenciation anatomique réside dans le fait que l'homme doit déplacer son regard pour que l'information soit traitée par la fovéa, ce qui nécessite forcément un temps de latence.

La dégradation du traitement de l'information en périphérie (réduction du pourcentage de réponses correctes et augmentation du temps de réponse) **est particulièrement marquée dans la condition de double tâche**. De plus, lorsque le nombre est présenté en périphérie de la scène visuelle, les novices âgés de 21 ans ont tendance à commettre plus d'erreurs en double tâche qu'en simple tâche de jugement de parité. En double tâche, ils font aussi plus d'erreurs de jugements quand l'information est présentée en périphérie que lorsqu'elle est présentée au centre. Ces résultats ne se retrouvent pas en simple tâche de jugement de la parité de nombre, prouvant par là même, que les difficultés des conducteurs novices en vision périphérique sont bien spécifiquement liées aux exigences de la tâche. Ces résultats sont en accord avec les recherches sur les mouvements oculaires montrant une modification de stratégies de recherche visuelle lorsque les exigences de la tâche augmentent, comme lors d'une situation de double tâche (Hosking *et al*, 2009 ; Metz *et al.*, 2011). De nombreuses recherches qui s'intéressent aux effets de la charge mentale sur le comportement du conducteur à travers la réalisation d'une tâche secondaire montrent une réduction de la zone de fixation ainsi qu'une augmentation du temps de fixation au centre du champ visuel (Harbluk, Noy, Trbovich et Eizenman, 2007 ; Strayer *et al*, 2003 ; L.J. Williams, 1995). De manière similaire, les recherches mettent en évidence une modification des stratégies de recherche visuelle dans les situations dangereuses (Chapman et Underwood, 1998 ; Crundall *et al*, 1998). De plus, durant l'activité de conduite, une grande partie des informations se trouve au centre de la scène, comme lors de notre expérience avec la présence d'un véhicule lièvre dans la voie centrale. Lorsque les exigences de la tâche sont élevées, les conducteurs focalisent leur attention vers le centre de la scène et n'arrivent pas à se désengager vers la périphérie (Wang *et al*, 2010). Ces difficultés d'ajustement de la recherche visuelle lors d'une tâche complexe ont d'ailleurs souvent été mises en évidence auprès de conducteurs novices (Chan *et al*, 2010 ; Pradhan *et al*, 2011 ; Underwood, 2007 ; Underwood, Chapman, Bowden et Crundall, 2002).

Expérience de conduite

Nous faisons l'hypothèse de performances de conduite moindres pour les jeunes conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés et plus âgés, à la fois du fait de leurs faibles compétences et de leur jeune âge. Pour cela nous avons comparé les performances de plusieurs groupes de conducteurs dont l'expérience, l'âge et le type d'apprentissage variaient. Notre hypothèse est confirmée : **les conducteurs novices (18 ans et moins de 4 mois de permis) présentent des performances de conduite inférieures à celles des conducteurs expérimentés (plus de 7 ans de permis)**. De plus, **les performances des conducteurs novices se différencient en fonction du type d'apprentissage** suivi et traduisent l'adoption de comportements différents.

L'analyse de la dynamique du véhicule des conducteurs novices ayant suivi un AT est caractérisée par des difficultés à réguler la vitesse du véhicule et à maintenir une position latérale stable sur la voie. En effet, ils présentent une déviation standard moyenne de position latérale sur la voie (SDLP) supérieure à celle observée pour les conducteurs expérimentés. Cette différence de performances s'accroît lors des séquences complexes de la tâche de suivi. Ces résultats corroborent les précédentes recherches réalisées auprès de conducteurs novices qui indiquent une augmentation de la variabilité de la position du véhicule sur la voie quand les exigences de la tâche augmentent (Berthelon et Gineyt, 2013 ; Damn *et al*, 2011 ; Hosking *et al*, 2009).

Les performances à la tâche secondaire diffèrent en fonction de l'expérience de conduite : les conducteurs novices de 18 ans ayant suivi un AT (G1) ont tendance à avoir un pourcentage de réponses correctes à la tâche de jugement de parité inférieur à celui des expérimentés (G5). Des précédentes recherches montrent que les conducteurs novices ont des difficultés à détecter, percevoir et identifier un danger (Deery, 1999 ; McKenna et Crick, 1991), notamment lors de la réalisation d'une tâche secondaire (Sagberg et Bjornskau, 2006) et lorsque l'information est présentée en périphérie (Chapman et Underwood, 2002 ; Metz *et al*, 2011). L'ensemble de ces résultats supporte l'idée selon laquelle les conducteurs novices présentent des difficultés à gérer plusieurs tâches simultanément (Hakamies-Blomqvist *et al*, 1999) et à diviser adéquatement leurs ressources entre tâche de conduite et tâche secondaire, du fait de leur manque d'automatisation des sous-tâches motrices (Shinar *et al*, 1998 ; Wikman, Nieminen et Summala, 1998). Ces dernières mobilisent par conséquent une grande quantité de ressources attentionnelles, qui ne peuvent pas être investies dans la tâche secondaire. Cette interprétation est en accord avec les recherches qui

montrent un seuil de surcharge plus précoce pour les novices que pour les expérimentés (Paxion, Berthelon et Galy, 2013).

De plus, lorsque les conducteurs novices âgés de 21 ans sont placés en double tâche, ils font plus d'erreurs lorsque l'information est présentée en périphérie que lorsqu'elle est présentée au centre de la scène visuelle. L'ensemble de ces résultats suggère des stratégies de traitement de l'information secondaire différente en fonction de l'âge du conducteur novice : les novices de 18 ans ayant suivi un AT ont tendance à présenter une diminution générale du pourcentage de réponses correctes alors que les novices de 21 ans font des erreurs uniquement lorsque l'information est présentée en périphérie dans des situations complexes, comme une double tâche.

D'autre part, les conducteurs novices ayant suivi un AAC présentent des dégradations du comportement de conduite spécifiques à la tâche simple de suivi de véhicule comme une augmentation du temps passé hors des limites de la voie, notamment lors des séquences peu complexes de la tâche. Contrairement à l'expérience de Damn *et al* (2011) où aucune différence de vitesse adoptée n'a été mise en évidence entre novices AT et AAC, ces derniers ont tendance à adopter, dans notre expérience, une vitesse plus élevée que celle de tous les autres groupes de conducteurs. Ce résultat est très couramment interprété en termes de prise de risques (Bina *et al*, 2006 ; Higélé et Hernja, 2007). Nous faisons ainsi l'hypothèse que la prise de risques mesurée via la vitesse du véhicule puisse être plus sensible à la monotonie de la tâche simple de suivi de véhicule qu'à la complexité de la double tâche. Ces résultats ne vont pas dans le sens des études sur l'abaissement de l'âge d'accès à la conduite qui montrent que ceux qui acquièrent le plus d'expérience en termes d'heures et de kilomètres sur la route deviennent les conducteurs les plus sûrs (Gregersen *et al*, 2000). Toutefois, l'adoption d'un comportement sécuritaire se retrouve en majorité chez les conductrices (Begg et Langley, 2001 ; Engström *et al*, 2003 ; Page *et al*, 2004). Il serait intéressant de reproduire ultérieurement nos analyses en prenant en compte le sexe du conducteur, et notamment d'étudier le lien susceptible d'exister entre le sexe du conducteur et le type d'apprentissage suivi.

En résumé, l'expérience 2 a permis de mettre en évidence l'impact négatif d'une tâche secondaire à la conduite sur les performances, notamment lorsque l'information est présentée en périphérie. Les ressources attentionnelles du conducteur préalablement allouées à l'activité de conduite sont capturées par la tâche secondaire. Les performances des conducteurs sont également

sensibles à la complexité intrinsèque de la tâche de suivi de véhicule. Ces résultats s'interprètent en termes d'augmentation des exigences de la tâche et de pression temporelle accrue. En effet, les séquences complexes exigent une réaction rapide de la part du conducteur pour éviter la collision. Par ailleurs, l'impact de la complexité intrinsèque de la tâche est différent selon l'expérience du conducteur : la dégradation des performances lors des séquences complexes est plus grande pour les conducteurs novices que pour les expérimentés. Nous avons également mis en évidence des différences de comportement en fonction du type d'apprentissage suivi. La dégradation des performances des novices ayant suivi un AT fait référence au manque de compétence et aux difficultés d'automatisation des différentes sous-tâches de conduite. En revanche, le comportement des novices ayant suivi un AAC se traduit par des prises de risque plus importantes que pour tous les autres groupes de conducteurs. Le manque d'automatisation des sous tâches de conduite associée à une prise de risques excessive peut expliquer, au moins en partie, la surreprésentation des jeunes conducteurs dans les accidents. Enfin, nos résultats suggèrent également un traitement de l'information secondaire différente en fonction de l'âge du conducteur novice.

En conclusion, nos résultats supportent l'idée selon laquelle les conducteurs novices échouent à mettre en place des mécanismes préventifs et compensatoires, et même lorsque les exigences de la tâche sont élevées et qu'ils en sont conscients. Le manque d'expérience des conducteurs est donc un facteur de dégradation de la performance, notamment dans les situations complexes comme lorsque l'attention du conducteur est attirée vers une tâche autre que celles liées à la conduite. Toutefois, on sait que les accidents sont généralement multi factoriels (Van Elslande, 2003) et l'alcool semble jouer un rôle dans le risque d'accident, en particulier pour les jeunes conducteurs qui ont un risque d'accident largement supérieur à celui des conducteurs plus âgés, et ceci dès une faible dose d'alcool (Peck *et al*, 2008 ; Zador *et al*, 2010). Il nous a donc paru intéressant de tester l'impact de l'alcool, et notamment des faibles doses sur les performances des jeunes conducteurs. Pour cela une troisième expérimentation a été réalisée afin de comparer les performances de jeunes conducteurs, novices et expérimentés, lors de trois sessions expérimentales (placebo, faible dose d'alcool, forte dose d'alcool). Avant de présenter cette expérimentation, nous faisons un état de la littérature au sujet de l'impact de l'alcool sur les mécanismes cognitifs impliqués dans l'activité de conduite.

4. Etat de l'art : Impact de l'alcool sur le fonctionnement cognitif du conducteur automobile

La consommation d'alcool seule ou associée à d'autres substances psycho actives est un fait courant dans la population générale. En France, 44,4 millions de personnes consomment de l'alcool et parmi eux 5 millions déclarent en consommer quotidiennement. En 2010, 13.7% des 18-75ans déclarent avoir bu de l'alcool tous les jours, au cours des douze derniers mois et le nombre de cas d'ivresse déclaré par an ne cesse d'augmenter, notamment chez les jeunes qui sont 26% à déclarer avoir été ivres au moins trois fois au cours de l'année (Richard, Beck, Spilka, 2013). Il n'est donc pas étonnant que la conduite sous l'influence d'alcool constitue la première cause de mortalité routière et soit impliquée dans un accident mortel sur trois.

4.1. Neurobiologie de l'intoxication aiguë d'alcool

L'alcool (ou éthanol), et son métabolite l'acétaldéhyde, est une des substances psycho actives les plus neurotoxiques. L'alcool est soluble dans l'eau et les graisses. Or, notre corps est constitué à 75% d'eau. Il diffuse donc dans les tissus et en particulier dans le cerveau. Malgré les idées reçues concernant les différentes pathologies liées à l'alcool, le principal organe du corps humain attaqué par l'alcool est le cerveau (Batel, 2013). La consommation d'alcool est à l'origine de dysfonctionnements cérébraux qui sont tout d'abord d'ordre fonctionnel dans le cas d'intoxications aiguës, mais qui peuvent rapidement devenir structuraux avec des dégénérescences neuronales typiquement liées à la chronicisation de la consommation.

L'éthanol modifie l'activité de neurotransmission de nombreux récepteurs et protéines effectrices de manière directe ou indirecte. Dans les phases d'intoxication aiguës, les récepteurs excitateurs NMDA impliqués dans la mémorisation, sont inhibés par l'alcool de manière concentration-dépendante. L'inhibition de ces récepteurs NMDA semble être responsable d'une partie des troubles cognitifs et neurologiques accompagnant l'intoxication. De plus, les fonctions inhibitrices des récepteurs GABA-A sont augmentées en présence d'alcool. Enfin, les récepteurs de sérotonine (5-HT₃) ainsi que les récepteurs nicotiques et certains types de canaux calciques et potassiques sont potentialisés par la consommation d'alcool. Cet effet potentialisateur de l'activité des récepteurs et des canaux ioniques dépend entre autres de la concentration d'alcool dans le sang (BAC). En effet, certaines sous-unités composant ces récepteurs ne sont sensibles qu'à une forte

dose d'alcool (récepteurs NMDA, GABA-A α et γ , et tous les récepteurs nicotiniques) alors que d'autres sont sensibles à une très faible dose d'alcool (récepteurs GABA-A $\beta 3$ et δ , récepteurs glycine $\alpha 1$ et certains récepteurs nicotiniques). Les effets de l'alcool sur ces récepteurs et canaux ioniques vont à leur tour entraîner des modifications en cascade comme l'altération du fonctionnement du système glutamatergique qui provoque des modifications comportementales allant de la déshinhibition à la sédation (Schuckit, 2009 ; Vengeliene, Bilbao et Molander, 2008). Enfin, les réseaux fronto-pariétaux sont particulièrement affectés par la consommation d'alcool que ce soit lors d'une tâche visuo-motrice ou lors d'une tâche d'attention-divisée (Haier *et al*, 1999 ; Van Horn, Yanos, Schmitt et Grafton, 2006). Haier *et al* (ibid.) utilisent la tomographie par émissions de positrons pour étudier le taux métabolique de glucose cortical chez huit hommes sains, lors d'une tâche d'attention divisée (tâche de correspondance de lettre + tâche d'orientation spatiale), avant et après consommation d'alcool. L'ingestion d'alcool est associée à une réduction des performances et cette dernière est corrélée à une diminution du taux métabolique de glucose cortical dans les lobes pariétaux.

En résumé, les réseaux corticaux frontaux et pariétaux impliqués dans les boucles de perception-action, et donc constamment sollicités dans l'activité de conduite, sont des cibles privilégiées de l'alcool. Dans le cas d'une intoxication aiguë, les modifications de neurotransmission constatées dans ces réseaux sont à l'origine d'une perturbation générale du fonctionnement cognitif du conducteur automobile.

4.2. Données épidémiologiques

Les résultats d'une enquête effectuée par voie postale auprès de 636 conducteurs danois montrent l'ampleur de la conduite sous influence : 2,8% de l'échantillon admettent conduire « parfois » sous l'influence d'une drogue illicite, 4% sous l'influence d'une drogue illicite combinée avec de l'alcool, 8,5% sous l'influence de l'alcool combinée à un médicament psychotrope et près d'un quart des conducteurs interrogés admettent conduire sous l'influence d'alcool (Behrendorff et Steentoft, 2003). Une distribution similaire est retrouvée lors de l'interrogatoire de 3343 conducteurs arrêtés par la police pour suspicion de conduite sous influence. Environ 1/3 des conducteurs sont sous l'influence de benzodiazépine, seule ou associée avec d'autres produits. Parmi ce sous ensemble de conducteurs, 15% ont également un BAC (concentration d'alcool dans

le sang) supérieur à 0,5gr /L et 9 % un BAC inférieure à 0,5 gr/L (Skurtveit, Christophersen, Grung, et Morland, 2002).

Alcool et risque d'accident

La comparaison des échantillons sanguins de 900 conducteurs français victimes d'accidents de la route admis aux urgences d'un hôpital à ceux d'une population contrôle de 900 patients admis aux urgences pour une autre raison qu'un accident de la route, montre qu'un BAC supérieur à la limite tolérée (0.5gr/L) est retrouvé chez 26% des victimes d'accidents contre 9% des patients contrôles. Chez les 18-27 ans, l'alcool était présent chez 17% des victimes d'accidents contre seulement 5% des patients contrôles.

A.F. Williams, West et Shults (2012) ont analysé le problème de la conduite sous influence de l'alcool chez les jeunes de 16-17ans. Entre 2005 et 2009, 15% des 8864 conducteurs de 16-17 ans impliqués dans un accident mortel ont une concentration d'alcool positive, dont la plupart est égale ou supérieure à 0,8 gr/L. Par ailleurs, Kelley-Baker *et al* (2013) ont recueilli 7159 échantillons d'air expiré chez des conducteurs de nuit aux Etats-Unis. Dans l'ensemble, 12% des conducteurs présentent un BAC positif et 2% des conducteurs ont un BAC supérieur à la limite tolérée (0,8 gr/L aux Etats-Unis) et la probabilité que le conducteur soit alcoolisé est la plus élevée chez les jeunes de 21 à 25 ans, notamment chez les hommes.

Le risque d'accident pour un conducteur alcoolisé suit une courbe exponentielle, et ceci dès de faibles doses d'alcool : il double pour un conducteur alcoolisé à 0.2gr/L comparativement à un conducteur sobre (Keall, Frith et Patterson, 2004), il est multiplié par cinq pour une alcoolisation comprise entre 0.5 et 0.79g/L et par 15 pour une alcoolisation supérieure ou égale à 0.8g/L (Movig *et al*, 2004 ; Mura *et al*, 2003). De plus, les jeunes conducteurs de moins de 21 ans sont plus susceptibles d'être impliqués dans un accident que ceux âgés de plus de 21ans, et ceci dès de faibles doses d'alcool (Peck *et al*, 2008). Les hommes sont également statistiquement plus susceptibles d'avoir un accident que les femmes. Ces résultats sont en accord avec ceux de Zador *et al*, (2000) qui indiquent que les jeunes conducteurs de moins de 20 ans et de sexe masculin constituent une catégorie particulièrement impliquée dans les accidents de la route, quel que soit le niveau d'alcoolémie, mais *a fortiori* lorsque le niveau est supérieur à la limite légale. Une étude réalisée dans une cohorte de 907 jeunes conducteurs Néo-Zélandais âgés de 21 ans précise que cette augmentation du risque d'accident après avoir consommé de l'alcool n'est significative que pour les accidents dits actifs c'est-à-dire les accidents dans lequel le conducteur est en faute. Les

conducteurs alcoolisés ont un taux d'accidents actifs 1,5 fois plus élevé que celui des conducteurs sobres (Horwood et Fergusson, 2000). Sous l'influence de l'alcool, les accidents sont principalement liés à une perte du contrôle et n'impliquent qu'un seul véhicule, celui du conducteur (Morland *et al*, 2011). Si l'on s'intéresse aux accidents mortels en fonction du type de collisions (perte de contrôle d'un véhicule vs collisions avec d'autres véhicules) on constate que 60% des conducteurs impliqués dans un accident de type 'perte de contrôle' ont de l'alcool et/ou de la drogue dans leur échantillon sanguin comparativement à seulement 30% pour les conducteurs décédés suite à une collision avec un autre véhicule. Ces valeurs atteignent 66% si l'on se concentre sur les conducteurs âgés de moins de 30 ans (Morland *et al*, *ibid*). Cette relation s'explique à la fois par une dégradation des compétences du conducteur sous l'influence de l'alcool ainsi que par l'adoption de comportement à risque : le conducteur est par exemple plus enclin à ne pas attacher sa ceinture de sécurité ou à adopter des vitesses excessives (Phillips et Brewer, 2011). L'inexpérience de conduite à laquelle vient s'ajouter un manque de connaissance au sujet des effets délétères de l'alcool entraîne une augmentation des comportements à risque au volant ce qui peut expliquer, au moins en partie, la surreprésentation des jeunes conducteurs novices dans les accidents de la route liés à la consommation d'alcool.

Le binge drinking

Par ailleurs, de nouveaux phénomènes liés à la jeunesse sont apparus ces dernières années comme le binge drinking⁹. En France, environ un tiers des adultes déclarent au moins un épisode de binge drinking au cours de l'année précédente. La dégradation de la performance de conduite est corrélée au nombre de verres consommé dans un mois et à la quantité d'alcool consommée en une occasion. Les adeptes du binge drinking ou ceux qui ont consommé de l'alcool à plus de 9 occasions dans les 30 derniers jours sont susceptibles d'avoir des performances de conduite dégradées et d'omettre d'utiliser la ceinture de sécurité (Birdsall, Reed, Huq, Wheeler et Rush, 2012).

Ces résultats sont tout de même à nuancer car les accidents des jeunes conducteurs liés à une consommation excessive d'alcool sont en réalité multifactoriels et impliquent très souvent d'autres caractéristiques comme la présence d'un passager, la conduite de nuit et les excès de vitesse (Bingham *et al*, 2009). Toutefois, approfondir nos connaissances sur le rôle de l'inexpérience en liaison avec l'influence de l'alcool dans la génération d'accidents est un enjeu important en termes

⁹ Le binge drinking se définit comme une consommation supérieure ou égale à 5 verres standard chez un homme et supérieure ou égale à 4 verres pour une femme en 2 heures, induisant une alcoolémie supérieure ou égale à 0.8g/L

de sécurité routière. En effet, l'accidentalité des jeunes liée à la consommation d'alcool est un problème sociétal majeur, au point qu'en 2001, la Commission Européenne conseillait un abaissement de la limite légale tolérée à un 0.2 gr/L de sang pour des catégories spécifiques d'usagers comme les novices et les conducteurs professionnels.

Débat sur l'abaissement du BAC toléré pour les conducteurs novices

A l'heure actuelle, la majorité des pays a déjà depuis longtemps mis en place un taux limite d'alcoolémie toléré pour tous. Toutefois les seuils légaux de tolérance divergent selon les pays et les catégories de conducteurs. Certains pays comme la Pologne ou la Suède ont abaissé leur seuil standard à 0.2 gr/L alors que d'autres comme la République Tchèque ou la Hongrie ont opté pour une tolérance zéro. De plus, une tolérance plus basse peut être adoptée pour les conducteurs novices. Une question se pose alors : l'abaissement du taux limite toléré d'alcool a-t-il des effets bénéfiques en matière de sécurité routière ? Suffirait-il, comme le conseille la Commission Européenne, d'abaisser la limite légale tolérée pour certaines catégories d'usagers jugées plus exposées que d'autres, en particulier les conducteurs novices et professionnels ? Ces questions ne doivent pas être abordées de manière idéologique mais en appliquant la rigueur de l'objectivité scientifique.

Plusieurs recherches ont eu pour objectif d'examiner l'impact de l'introduction d'une loi réduisant le taux légal d'alcool toléré pendant la conduite sur les mesures de sécurité routière. En majorité, les évaluations de la réduction de la limite tolérée du BAC montrent des effets bénéfiques, comme une diminution du nombre d'accidents corporels et mortels (Andreucetti *et al*, 2011, Fell et Voas, 2009). Ces effets sont dans certains cas relativement faibles, et dans d'autres cas temporaires. Néanmoins, dans certaines juridictions américaines, une réduction durable du taux de collisions a été rapportée (Mann, Vingilis, Gavin, Adlaf et Anglin, 2010). Les lois répressives comme la suspension du permis en cas de conduite sous l'influence d'un taux d'alcool supérieur au taux toléré se traduisent également par des bénéfices en matière de sécurité routière. Ces lois renforcent de manière générale le comportement sécuritaire et prudent du conducteur mais ne semblent pas affecter particulièrement les attitudes du conducteur vis-à-vis de l'alcool (Mann *et al*, *ibid.*). D'autres études ne mettent pas en évidence de bénéfices en termes de sécurité routière depuis l'adoption d'une loi visant à réduire le BAC toléré pendant la conduite (Zivkovic, Nikolic, Lukic, Zivadinovic et Babic, 2013). En France, le taux limite toléré pendant la conduite est fixé à 0.5gr/L. Les recherches scientifiques ont contribué à fixer ces limites en fournissant des données

épidémiologiques et expérimentales permettant d'identifier les niveaux d'alcool susceptibles de dégrader les compétences de conduite et d'augmenter le risque d'accidents.

4.3. Données expérimentales

Une multitude de travaux se sont intéressés aux effets de la consommation chronique d'alcool et de l'alcool-dépendance sur le fonctionnement cognitif. Dans le cadre de ce travail qui vise l'étude de l'impact de l'alcool sur le comportement des jeunes conducteurs, nous nous centrons uniquement sur l'influence de l'intoxication aiguë de faible et forte dose d'alcool sur les mécanismes cognitifs impliqués dans l'activité du conducteur (Moskowitz et Burns, 1990, pour une revue).

4.3.1. Les expériences en laboratoires

Les résultats provenant des recherches en laboratoire mettent en évidence une dégradation de l'ensemble des compétences nécessaires à la conduite automobile sous l'influence d'alcool. Toutefois, ces compétences diffèrent dans leur sensibilité dans la mesure où elles sont plus ou moins perturbées et à des doses d'alcool plus ou moins faibles.

Vitesse de traitement de l'information

La grande majorité des recherches qui testent l'influence de l'alcool sur le temps de réaction simple échouent à démontrer un ralentissement significatif du traitement de l'information. Lorsque le temps de réaction de choix est mesuré, une dégradation significative des performances n'est retrouvée qu'à partir d'un BAC de 0.6 gr/L (Fillmore, Ostling, Martin et Kelly, 2009). La mesure du temps de réaction souffre d'une importante variabilité des performances (Ogden et Moskowitz, 2004). Toutefois, lorsque la complexité de la tâche augmente, comme lors de la dénomination d'un objet, un ralentissement du temps de réponse est constaté dès un BAC de 0,5 gr/L (Moskowitz et Fiorentino, 2000 ; Moskowitz et Roth, 1971). Ce ralentissement du temps de dénomination est encore plus prononcé dans le cas où deux stimulus ou plus sont présents et si plusieurs réponses sont possibles (Linnoila, Erwin, Ramm et Cleveland, 1980).

Fonctions visuelles et compétences perceptives

La vision est particulièrement sensible aux effets de l'alcool. La consommation d'alcool perturbe le contrôle des mouvements oculaires et réduit l'acuité visuelle. Un BAC de 0.4 gr/L est suffisant pour induire un nystagmus (mouvement d'oscillation involontaire et saccadé du globe oculaire) (Ogden et Moskowitz, 2004). L'alcool modifie les stratégies de recherche visuelle : la fréquence des mouvements oculaires, la distribution et la durée des fixations dans l'environnement sont réduites (Ogden et Moskowitz, *ibid.*) Les recherches sur les mouvements oculaires montrent une focalisation des fixations au centre de la scène et une exploration réduite de l'environnement périphérique. L'impact délétère de l'alcool sur le traitement de l'information entraîne une augmentation du temps de fixation pour aboutir à une identification, ce qui réduit le nombre de fixations possibles pour explorer l'environnement en un temps donné (Ogden et Moskowitz, *ibid.*). Ces perturbations des fonctions visuelles entraînent des difficultés pour suivre un objet en mouvement ainsi que pour rechercher les éléments pertinents dans une scène visuelle, notamment lorsqu'ils sont situés en périphérie du champ visuel du conducteur. Les individus ayant un BAC de 0.4 gr/L sont plus susceptibles de ne pas voir des objets inattendus présents dans leur champ visuel que les individus sobres (Clifasefi, Takarangi et Bergman, 2006). Ce résultat est très intéressant en matière de sécurité routière puisqu'il traduit un phénomène de cécité attentionnelle sous l'influence d'une dose d'alcool tolérée par la législation. Enfin, l'influence de l'alcool sur les fonctions visuelles et la perception dépend de la complexité de l'environnement et de la tâche. Lorsque le nombre d'informations sensorielles à traiter augmente, ou encore lorsque que les informations sont présentées à un rythme soutenu ou proviennent de différentes sources simultanément, les effets délétères de l'alcool sur les fonctions visuelles et la perception sont encore plus prononcés.

Les compétences attentionnelles

Les recherches examinant les effets de l'intoxication aiguë d'alcool sur la distribution spatiale de l'attention visuelle confirment les résultats précédemment présentés : sous l'influence de l'alcool, les conducteurs présentent des difficultés à désengager leur attention du centre de la scène vers la périphérie (Andersen *et al*, 2011 ; Bian *et al*, 2010 ; Do Canto Pereira, de PA David, Machado-Pinheiro et Ranvaud, 2007) Ces résultats ne sont pas sans rappeler les perturbations des stratégies de recherche visuelle mises en évidence pour les conducteurs novices. Par ailleurs, une faible dose d'alcool (BAC de 0.2 gr/L) semble être suffisante pour perturber les capacités d'attention sélective et d'attention divisée (Koelaga, 1995). Les performances de 39 sujets âgés de 18 à 30 ans lors de la réalisation d'une tâche d'attention divisée (test de barrage + rétention d'un message auditif) sont

enregistrées avec ou sans alcool (Rosselo, Munar, Justo et Arias, 1999). Les participants avec un BAC de 0.4 gr/L font plus d'erreurs au test de barrage que les participants sobres. De plus, leurs performances sont également altérées lors d'une tâche de shifting attentionnel auditif (retrouver la provenance du son parmi 6 sources) (Rosselo *et al*, *ibid*). A nouveau l'impact de l'alcool sur les capacités attentionnelles de l'individu est modulé par la complexité de la tâche. Par exemple, les performances en double tâche sont d'autant plus dégradées que le délai temporel entre la réalisation des deux tâches est court (Schweizer, Vogel-Sprott, Dixon et Jolicoeur, 2005).

Les compétences mnésiques

L'alcool diminue les capacités mnésiques d'un individu, notamment lors d'une tâche de mémorisation explicite (Duka, Weissenborn et Dienes, 2001). La mémoire visuo-spatiale est particulièrement sensible aux effets de l'alcool. Dans la recherche de Tiplady, Degia et Dixon (2005), 15 sujets sains de 18 à 35 ans devaient retenir l'emplacement de plusieurs figures dans le but de réaliser des paires. Ils consommaient soit une boisson placebo, soit une boisson alcoolisée permettant d'atteindre un BAC de 0.5 gr/L et de 0.8 gr/L. Les résultats montrent que les capacités en mémoire de travail visuo-spatiale sont dégradées par l'ingestion d'alcool et que les performances suivent une relation inversement proportionnelle à la dose d'alcool ingérée.

Les compétences exécutives

Le fonctionnement cognitif de type exécutif qui comprend selon Lezak (1995) raisonnement abstrait, attention sélective et soutenue, temps de réaction, flexibilité mentale, programmation motrice et contrôle exécutif de l'action, résistance à l'interférence, contrôle inhibiteur et autonomie environnementale est aussi perturbé par la consommation d'alcool. Près de 390 conducteurs brésiliens ont été soumis à une batterie d'évaluation des fonctions exécutives (Frontal Assessment Battery : FAB) ainsi qu'à une mesure du taux d'alcoolémie (Aires-Domingues, Barreto-Mendonça, Laranjeira et Nakamura-Palacios, 2009). Outre le fait que près d'un quart des conducteurs présentent un BAC positif, une relation inverse entre le BAC et le score à la FAB a été trouvée montrant un déclin progressif des fonctions exécutives avec l'augmentation du BAC. Cette dégradation est d'ailleurs particulièrement importante pour les jeunes conducteurs. Le fonctionnement exécutif de 95 jeunes confrontés à une tâche de planification a été étudié après consommation d'alcool (BAC de 0.8 gr/L) ou de placebo (Weissenborn et Duka, 2003). L'alcool diminue le nombre de solutions optimales trouvées. Le temps de réflexion pris avant d'initier une réponse est réduit ce qui traduit une certaine impulsivité de la part du participant alcoolisé, bien que

dans l'ensemble, le temps pour mener à bien la tâche augmente. Par ailleurs, une altération du contrôle inhibiteur dans une tâche de type go/no-go à été mise en évidence avec un BAC de 0,45 gr/L (Fillmore *et al*, 2009). Enfin, le niveau de BAC est aussi un bon prédicteur du nombre d'erreurs persévératives dans une tâche de Wisconsin Card Sorting Test (Lyvers et Tobias-Webb, 2010).

A la lumière de ce qui précède, les expérimentations réalisées en laboratoire convergent toutes sur un point : l'ensemble des mécanismes cognitifs nécessaires à la conduite (vitesse de traitement de l'information, vision, attention sélective et divisée, mémoire, fonctionnement exécutif) est altéré par la consommation d'alcool à plus ou moins forte dose. Toutefois, ces résultats proviennent de tâches simples réalisées en laboratoire et sont difficilement généralisables à une activité aussi complexe que la conduite automobile. Dans une perspective plus écologique, des études sur l'influence de l'alcool sur les compétences directement impliquées dans l'activité de conduite ont donc été réalisées en simulateur et sur circuit fermé.

4.3.2. Les expériences en simulateur de conduite

Les compétences motrices

La gestion de la dynamique du véhicule est une tâche motrice relativement difficile dans la mesure où le conducteur doit maintenir la trajectoire et la direction du véhicule dans les limites de la voie tout en prélevant les informations pertinentes dans l'environnement. Sous l'influence de l'alcool, les conducteurs présentent une augmentation de la variabilité des performances de contrôle latéral du véhicule sur la voie (Berthelon et Gineyt, 2013 ; Verster *et al*, 2009). Ils mettent aussi plus de temps pour réagir aux événements c'est-à-dire pour adopter des stratégies comme un freinage ou une modification de trajectoire suite à la survenue d'un événement soudain (Christoforou, Karlaftis et Yannis, 2010). Ces difficultés sont particulièrement marquées lorsque les exigences de la tâche de conduite augmentent (Moskowitz, Burns, Fiorentino, Smyley et Zador, 2000). Par ailleurs, les erreurs de conduite à l'origine d'accidents sont corrélées positivement avec l'augmentation du BAC (Colburn, Meyer, Wrigley et Bradley, 1999 ; Dupont *et al*, 2010 ;). L'ingestion d'alcool diminue la capacité de l'individu à traiter les informations. Le conducteur va donc mobiliser une grande partie de ses ressources pour mener à bien les sous-tâches motrices dont les exigences sont continues, au risque de ne pas être en capacité de détecter un événement pertinent.

Les compétences perceptives

Bien que l'alcool perturbe les capacités de traitement de l'information, les tâches de détection simple d'un signal sonore ou lumineux étudiées en simulateur de conduite ne semblent pas être sensibles aux effets de l'alcool (Moskowitz *et al*, 2000 ; Ogden et Moskowitz, 2004). Toutefois, ces tâches ne reflètent pas l'extrême complexité des processus cognitifs mis en jeu dans l'activité de conduite. Dès lors que la tâche évolue et se complexifie, l'alcool perturbe les compétences perceptives du conducteur en réduisant son aptitude à détecter le danger. Les conducteurs alcoolisés mettent plus de temps à détecter et interpréter un danger que les conducteurs sobres (Filtness, Rudin-Brown, Mulvihill et Lenné, 2013 ; West, Wilding, French, Kemp et Irving, 1993). Les difficultés pour identifier un danger sont particulièrement marquées lorsque ce dernier se situe dans la périphérie du champ visuel du conducteur (Chapman et Underwood, 2002 ; Owsley et McGwin Jr, 2010). En effet, sous l'influence de l'alcool, le conducteur centralise ses regards vers l'avant du véhicule et présente des difficultés pour traiter les éléments situés en périphérie de la scène (Dupont *et al*, 2010 ; Moskowitz *et al*, *ibid*). Ce phénomène, plus connu sous le nom d'effet tunnel se retrouve dès l'ingestion d'une faible dose d'alcool (BAC de 0,3 gr/L) (Dupont *et al*, *ibid*).

Les compétences attentionnelles : Distraction du conducteur

La capacité du conducteur à diviser son attention entre plusieurs tâches est particulièrement sensible aux effets de l'alcool, même à de très faibles doses (Dupont *et al*, *ibid*. ; Ogden et Moskowitz, *ibid*). Or l'activité de conduite est par essence une situation d'attention divisée puisqu'elle nécessite un partage constant des ressources attentionnelles du conducteur entre les différentes sous-tâches de conduite. D'autre part, il n'est pas rare que le conducteur réalise une activité secondaire comme manger, fumer ou/et téléphoner. A l'origine de nombreux accidents de la route, le phénomène de distraction du conducteur par une tâche secondaire est exacerbé lors de la conduite sous influence de l'alcool (Rakauskas *et al*, 2008). Harrison et Fillmore (2011) ont soumis 40 jeunes conducteurs à une tâche d'attention divisée (conduite + détection de flèche à droite ou gauche de l'écran) avec ou sans alcool (BAC de 0.65 gr/L vs placebo). Les conducteurs alcoolisés ont plus de difficultés à maintenir une position stable du véhicule sur la voie que les conducteurs sobres, notamment en situation d'attention divisée. De plus, contrairement aux conducteurs sobres, les conducteurs alcoolisés qui réalisent une tâche d'attention divisée ne compensent pas la difficulté de la tâche par une réduction de leur vitesse. Ils sont toutefois conscients de l'impact négatif de l'alcool sur leurs performances puisqu'ils auto-évaluent leurs performances comme étant

significativement plus détériorées que celle des conducteurs sobres (Harrisson et Fillmore, *ibid*). Récemment des chercheurs ont testé la relation existant entre la dégradation des performances due à la distraction par une tâche de téléphone mobile pendant la conduite et celle provoquée par l'ingestion d'alcool (Leung, Croft, Jackson, Howard et Mc Kenzie, 2012). Les performances de 12 conducteurs ont été étudiées lors de la réalisation d'une tâche de conduite simulée avec une tâche secondaire dont la complexité varie (pas de téléphone, conversation simple, conversation exigeante, sms) et après absorption d'une dose d'alcool (0.0 gr/L, 0.4 gr/L, 0.7 gr/L, 1 gr/L). Lors de la conduite sous influence d'alcool, les conducteurs ont plus de difficulté à réguler leur vitesse et mettent plus de temps à freiner que lorsqu'ils sont sobres. Des résultats similaires sont retrouvés lors de la réalisation d'une tâche secondaire de téléphone mobile. Les auteurs concluent donc que la distraction du conducteur par une tâche secondaire est comparable à celle induite par l'ingestion d'alcool (BAC de 0,4 gr/L). Quand la conversation téléphonique se complexifie la dégradation des performances de conduite devient similaire à celle d'un conducteur sous l'emprise d'une forte dose d'alcool (BAC de 0.7 gr/L et 1 gr/L). En résumé, les difficultés de conduite engendrées par l'ingestion d'alcool sont exacerbées lorsque le conducteur se retrouve dans une situation d'attention divisée, et réciproquement, les phénomènes de distraction sont accrus lorsque le conducteur est sous l'emprise de l'alcool (Harrison et Fillmore, *ibid.* ; Rakauskas et *al*, *ibid.*). Par ailleurs, une grande partie des accidents liés à l'alcool se produisent la nuit et les week-ends, en sortant de bar ou de soirée. Or, plusieurs recherches ont montré une potentialisation des effets négatifs de l'alcool sur la capacité d'attention divisée lorsque le conducteur est soumis à un éveil prolongé (Iudice *et al*, 2005 ; Mills, Spruill, Kanne, Parkman et Zhang, 2001). Autrement dit, dans une situation de double tâche, les conducteurs alcoolisés (BAC de 0.5gr/L) et fatigués montrent une dégradation de leurs performances de conduite supérieure à celle trouvée chez les conducteurs alcoolisés qui ne sont pas en manque de sommeil.

Les compétences exécutives

Sous l'influence de l'alcool le conducteur a des difficultés à planifier ses actions et inhiber celles qui sont inappropriées (Fillmore, Blackburn et Harrisson, 2008). Une recherche s'est intéressée à l'influence de l'alcool sur les composantes automatiques et contrôlées impliquées dans le contrôle inhibiteur (Abroms, Gottlob et Fillmore, 2006). Selon ces auteurs, les doses faibles (0.45gr/L) et modérées d'alcool (0.65 gr/L) affectent uniquement le contrôle inhibiteur intentionnel. La désinhibition associée à l'alcool semble donc liée à une dégradation des compétences de contrôle inhibiteur du conducteur ce qui le pousse à adopter des comportements impulsifs et à risques.

Les mesures subjectives

Les capacités cognitives des individus se traduisant par des performances observables et mesurables ne sont pas les seules à être sensibles aux effets de l'alcool. En effet, d'après Holloway (1994) qui a examiné 155 études expérimentales effectuées entre 1985 et 1993, la sensation subjective d'intoxication est encore plus sensible aux effets de l'alcool que les performances objectives. La méta-analyse du projet Européen « Driving Under the Influence of Drugs » indique que 80% des expériences mettent en évidence une augmentation de sensation d'intoxication subjective lors de la consommation d'alcool, y compris lors de l'ingestion de faibles doses. Contrairement aux performances qui suivent une relation linéaire avec le BAC, la sensation subjective d'intoxication semble atteindre un seuil plateau à partir d'un BAC de 0.4 gr/L. Au niveau de BAC où la performance commence à se détériorer, le conducteur se sent déjà considérablement intoxiqué. Ces résultats suggèrent donc que la sensation d'intoxication subjective est un indicateur précoce de la dégradation comportementale. En se basant sur cette sensation subjective d'intoxication, il deviendrait donc possible pour le conducteur d'anticiper la dégradation comportementale liée à l'alcool et d'opter pour des conduites d'évitement du risque comme ne pas prendre le volant en état d'ébriété.

En résumé, l'alcool perturbe les capacités cognitives du conducteur et a un impact délétère direct sur l'ensemble des compétences impliquées dans l'activité du conducteur. Sous l'emprise de l'alcool, les réactions du conducteur sont ralenties, sa vision est perturbée, ses compétences pour traiter simultanément l'ensemble des informations présentes sont altérées. La capacité à partager ses ressources attentionnelles entre diverses sources d'informations est fortement dégradée et ceci dès de très faibles doses. Cette dégradation des performances de conduite est encore plus prononcée si le conducteur est fatigué ou a consommé d'autres substances simultanément. Les chercheurs n'ont pas trouvé de BAC en dessous duquel strictement aucune dégradation ne soit trouvée. Il est donc important de noter que l'augmentation significative du risque d'accident n'est pas limitée à des BAC élevés, mais au contraire débute dès l'ingestion d'alcool (BAC de 0.1 gr/L) et que le risque d'accident sous l'influence d'alcool augmente plus rapidement pour les conducteurs novices que pour les expérimentés (Dupont *et al*, 2010 ; Zador *et al*, 2000). La grande variabilité des performances présente dans l'ensemble de ces recherches indique qu'il faut prendre de multiples précautions quant à une potentielle généralisation. Toutefois, il semble évident que la législation doit se baser sur le comportement des individus les plus sensibles aux effets délétères de l'alcool.

4.3.4. Impact de l'alcool en fonction du BAC

Le tableau 12 résume les principaux effets délétères de l'alcool en fonction du BAC administrée.

Tableau 12. Impact de l'alcool en fonction du BAC administrée

BAC	Effets *
0.1gr/L	Flexibilité cognitive (Lyvers et Tobias-Webb, 2010)
0.2gr/L	Traitement de l'information spatiale Vigilance, poursuite visuelle, attention divisée (Moskowitz et Robinson, 1987, Moskowitz et Fiorentino, 2000, Koelaga, 1995 ; Rosselo <i>et al</i> , 1999) Erreur de tracking (poursuite, localisation) (Moskowitz et Burns, 1990) Shift attentionnel (Rosselo <i>et al</i> , 1999)
0.3gr/L	Comportements contrôlés (Holloway, 1994 ; Koelaga, 1995)
0.4gr/L	Contrôle inhibiteur, traitement de l'information (Fillmore <i>et al</i> , 2009, Abroms <i>et al</i> , 2006) Cécité attentionnelle aux changements (Clifasefi <i>et al</i> , 2006)
0.5gr/L	Comportements automatiques (Fisk et Schneider, 1982 ; Holloway, 1994, Koelaga, 1995)
0.6gr/L	Fonction frontale exécutive (Aires Domingues <i>et al</i> , 2009) Acuité visuelle (Moskowitz et Robinson, 1987)
0.8gr/L	Attention visuo-spatiale, difficulté en périphérie (Do Canto Pereira <i>et al</i> , 2007) Jugement et prise de décisions (Koelaga, 1995) Vigilance (Moskowitz et Robinson, 1987) Temps de réaction (Tiplady <i>et al</i> , 2005 ; Hernandez, Vogel-Sprott, Ke-Aznar, 2007) Erreur visuo-spatiale et estimation de longueur (Tiplady <i>et al</i> , 2005) Dynamique du véhicule – Contrôle latéral (Berthelon et Gineyt, 2014)
1gr/L	Performances simples et complexes (TR de choix, temps de détection, performances de poursuite, double tâche) (Chiles et Jennings, 1969).

* : BAC minimum à partir duquel une dégradation significative est reportée.

4.3.5. Impact de l'alcool en fonction de la courbe absorption-élimination

Le niveau d'alcool dans le sang dans les minutes et heures suivant l'ingestion suit une évolution connue appelé courbe d'absorption-élimination. La concentration d'alcool dans le sang augmente très rapidement jusqu'à un pic (absorption) puis diminue ensuite progressivement (élimination). On pourrait s'attendre à ce que pour un BAC donné les effets de l'alcool soient identiques sur la phase ascendante et descendante. Il n'en est rien : les fonctions cognitives semblent plus altérées par

l'alcool que les fonctions motrices durant la phase ascendante du BAC alors que l'inverse se produirait en phase descendante (Koelaga, 1995). Par ailleurs, le temps de réponse est plus affecté pendant la phase ascendante du BAC que pendant la phase descendante, et inversement pour les erreurs. Schweizer et Vogel-Sprott (2008) suggèrent une possible latéralisation hémisphérique des effets de l'alcool en fonction de la phase d'absorption ou d'élimination. En effet, durant la phase ascendante du BAC, une altération des performances de mémoire verbale à long terme est constatée, alors que durant la phase descendante, ce sont plutôt les performances de mémoire de travail visuo-spatiale qui sont dégradées. Les tâches impliquant l'hémisphère gauche seraient donc plus altérées en phase ascendante que descendante, et inversement pour les tâches impliquant l'hémisphère droit (Schweizer *et al*, 2006).

4.3.6. Impact de l'alcool en fonction de la complexité de la tâche

Une méta analyse récente a recensé 450 recherches concernant l'impact de différentes doses d'alcool sur les performances obtenues à des tâches en laboratoire et en simulateur de conduite (Schnabel, Hargutt et Kruger, 2010). Au niveau de BAC toléré en France (0.5 gr/L), une dégradation des performances générales est constatée dans 30% des expériences. Puis à chaque augmentation du BAC de 0.1 gr/L, le nombre d'expériences mettant en évidence une dégradation significative augmente de 6.6% (Schnabel *et al*, *ibid*). La méta analyse DRUID distingue les tâches simples et complexes réalisées en laboratoire ou sur simulateur de conduite. Des exemples de ces tâches sont donnés dans le tableau 13.

Tableau 13. Classification des tâches selon la méta analyse DRUID.

	En laboratoire	En simulateur de conduite
Tâche simple	Temps de réaction, détection signal lumineux Test de posture	Poursuite visuelle Suivi de véhicule
Tâche complexe	Tests cognitifs (attention, mémoire, fonction exécutive...)	Environnement visuel riche Tâche secondaire Perception du danger

L'impact négatif de l'alcool augmente de manière croissante avec la complexité de la tâche : les performances lors des tâches complexes sont plus dégradées par l'ingestion d'alcool que les performances obtenues en tâches simples, et ceci dès de très faibles doses. Néanmoins, une forte

dose d'alcool (0.8 gr/L, 1 gr/L) affecte l'ensemble des performances quelle que soit la complexité de la tâche. Tout se passe comme si dans une situation peu exigeante, les conducteurs ayant consommé une faible dose d'alcool étaient capables de mettre en place des mécanismes compensatoires qui vont leur permettre de réguler la performance. Cependant, ces mécanismes deviennent inefficaces lors de consommation d'une forte dose d'alcool ou lorsque la situation devient particulièrement exigeante (Moskowitz et Fiorentino, 2000).

Les effets différentiels de l'alcool en fonction de la complexité de la tâche permettent d'expliquer pourquoi les expériences réalisées sur simulateur de conduite montrent des effets de l'alcool sur les performances plus importants que lors des expériences en laboratoire. En effet, l'activité de conduite automobile implique un ensemble de sous-tâches variées qui évolue dans un environnement dynamique et nécessite par conséquent de mobiliser simultanément de multiples compétences à la fois perceptives, cognitives et motrices alors que l'étude des tâches simples en laboratoire souffre d'un biais de focalisation de l'attention sur la tâche.

4.3.7. Impact de l'alcool en fonction de l'expérience sur la tâche de conduite.

Leung et Starmer (2005) se sont intéressés à l'influence de l'alcool (BAC de 0,6 gr/L – 0,7 gr/L) sur les compétences perceptives en fonction de l'expérience de conduite. Pour cela, ils ont comparé les performances de 16 jeunes conducteurs (18-21 ans) à celles de 16 conducteurs plus âgés et expérimentés (25-35ans) lors d'une tâche de détection d'un véhicule à l'horizon et lors d'une tâche de dépassement avec trafic en sens inverse. Le temps de détection du véhicule à l'horizon est ralenti, notamment pour les jeunes conducteurs (18-21 ans). Lors de la tâche de dépassement de véhicule, les jeunes conducteurs adoptent des vitesses plus basses, augmentant par conséquent le temps passé sur la voie opposée. Les auteurs concluent à un impact différent de l'alcool sur le comportement de conduite en fonction de l'expérience du conducteur. Toutefois dans cette expérience, à nouveau les facteurs liés à l'âge et ceux liés à l'expérience du conducteur sont confondus.

Par ailleurs, les performances de conduite et de détection de danger de 40 conducteurs de moto (20 novices vs 20 expérimentés) sous l'influence d'alcool (0.0 gr/L vs 0.2 gr/L vs 0.5 gr/L) ont été enregistrées (Filtner *et al*, 2013). Les participants installés sur un simulateur devaient conduire sur des routes urbaines et rurales en détectant des points lumineux apparaissant en périphérie (peripheral detection task). Avec un BAC de 0.5 gr/L, les conducteurs ont des difficultés à

maintenir une position stable du véhicule sur la voie et leur temps de réaction aux signaux lumineux périphériques est ralenti. De plus, le risque de collision avec un piéton augmente dès de faibles doses d'alcool (BAC de 0.2 gr/L), notamment pour les conducteurs novices qui optent pour des vitesses plus élevées que les expérimentés. L'alcool entraîne une détérioration des performances de conduite et une perturbation du traitement de l'information située en périphérie du champ visuel, qui est d'autant plus importante que le conducteur est inexpérimenté.

4.3.8. Impact de l'alcool en fonction de la nature des processus cognitifs invoqués

Les processus automatiques et les processus contrôlés

La distinction précédente entre tâche simple et complexe renvoie à la dichotomie entre processus automatiques et contrôlés (Schneider et Shiffrin, 1977). Les tâches simples impliquent *a priori* des processus automatiques tandis que les tâches complexes requièrent un contrôle attentionnel de la part de l'individu.

Pendant longtemps, les recherches ont suggéré que les processus automatiques étaient plus résistants aux effets délétères de l'alcool que les processus contrôlés : les performances de conduite sous tendues par des processus contrôlés sont dégradées dès de faibles doses (BAC de 0,2 gr/L, 0,3 gr/L), contrairement à celles sous tendues par des processus automatiques qui sont préservées, au moins jusqu'à un BAC de 0,5 gr/L (Holloway, 1994 ; Koelaga, 1995 ; Moskowitz et Fiorentino, 2000). Toutefois, des résultats inverses sont trouvés dans de récentes recherches (Berthelon et Gineyt, 2013 ; Veldstra *et al*, 2011). Les performances lors d'une tâche de suivi de véhicule, connue pour mobiliser des processus automatiques pour un conducteur expérimenté, sont dégradées sous l'influence de l'alcool contrairement au scénario urbain avec traversée de piéton (Berthelon et Gineyt, *ibid.*). Au vu de la divergence de ces résultats, la question de l'influence de l'alcool sur les processus automatiques et contrôlés impliqués dans l'activité du conducteur est loin d'être tranchée.

Temps de réponse vs erreur

Les travaux de la littérature suggèrent que la vitesse de traitement de l'information mesurée à travers le temps de réponse n'est que peu sensible aux effets de l'alcool, contrairement à la précision du traitement de l'information mesurée à travers le nombre d'erreurs (Koelaga, 1995 ;

Ogden et Moskowitz, 2004 ; Schweizer et Vogel-Sprott, 2008). Dans la revue de littérature de Schweizer et Vogel-Sprott (ibid), 29 tâches sont recensées dont 18 mesurent les erreurs et 11 le temps de réponse. La quasi intégralité des recherches indique une tolérance aiguë à l'alcool pour évoquer la récupération de la vitesse de traitement de l'information alors que les erreurs continuent de se produire, voire d'augmenter. Cet effet différentiel de l'alcool sur la vitesse et la précision du traitement de l'information est particulièrement marqué durant la phase descendante du BAC.

Toutefois lorsque la tâche se complexifie comme lors de la détection d'une cible en présence de distracteurs, les performances sont plus sensibles aux effets nocifs de l'alcool et l'augmentation du temps d'identification est clairement dépendante de la dose ingérée (Tiplady *et al*, 2005). Une recherche s'est intéressée aux deux composantes du temps de réponse à savoir le temps de réponse pré-moteur (ou cognitif) et le temps de réponse moteur (Hernandez *et al*, 2007). Le temps pré-moteur est la période qui va de la présentation du stimulus à la réponse musculaire, alors que le temps moteur est la période qui va du changement dans le potentiel d'action à la réponse motrice observable (Botwinick et Thompson, 1966). Lors d'une tâche de réaction à l'omission d'un stimulus récurrent sous alcool (BAC de 0.8 gr/L), le temps de réaction pré-moteur augmente considérablement alors que le temps de réaction moteur n'est pas sensible aux effets néfastes de l'alcool. Outre l'implication de ces résultats pour les recherches expérimentales, ils éclairent également une question fondamentale en psychologie cognitive en plaidant pour une indépendance des processus cognitifs liés à la vitesse et à la précision du traitement de l'information. Schweizer et Vogel-Sprott (2008) font l'hypothèse que les erreurs sont sous-tendues par des processus d'inhibition, dominés par des réseaux cérébraux de l'hémisphère droit, alors que les temps de réponse dépendent de processus d'activation, dominés par des réseaux cérébraux de l'hémisphère gauche.

En résumé, l'alcool dégrade nettement le comportement du conducteur. Ce fait est largement établi au travers des nombreuses recherches épidémiologiques qui montrent une augmentation du risque d'accident et de blessures graves lorsqu'un conducteur est sous l'emprise de l'alcool, ainsi que sur la base d'une multitude de recherches expérimentales indiquant une dégradation des compétences motrices, perceptives et cognitives impliquées dans l'activité de conduite. Toutefois, étant donné la diversité des méthodologies utilisées et la variabilité interindividuelle aux effets de l'alcool, il n'est pas étonnant que de nombreuses questions restent encore en suspens et notamment celle de l'influence des faibles doses. Les résultats divergent montrant tantôt une amélioration, une

stabilisation ou une dégradation des performances en comparaison à la condition placebo. On peut donc légitimement se demander si les effets des faibles doses d'alcool ne seraient pas modulés en fonction de caractéristiques propres au conducteur comme l'expérience de conduite.

5. Expérience 3 : Impact de l'alcool sur l'attention divisée du conducteur en fonction de l'expérience de conduite

Notre troisième expérimentation a pour objectif de déterminer les effets d'une tâche d'attention divisée et de l'ingestion d'alcool, ainsi que leurs possibles effets d'interactions sur les performances de conduite des jeunes conducteurs, novices et expérimentés.

5.1. Participants

Trente-deux jeunes conducteurs, répartis en deux groupes en fonction de leur expérience de conduite ont participé à cette recherche. Le premier groupe est constitué de 16 conducteurs novices âgés de 18 ans et ayant obtenu leur permis depuis moins de deux mois. Le second groupe est constitué de 16 conducteurs expérimentés ayant environ trois ans d'expérience de conduite et âgés de 21 ans. Tous les participants ont obtenu leur permis à l'âge de 18 ans. Les conducteurs novices se situent dans les deux premiers mois de la période de permis probatoire et les conducteurs expérimentés se situent dans les deux derniers mois. Les caractéristiques des participants sont présentées dans le tableau 14.

Tableau 14. Caractéristiques des participants de l'expérience 3.

Groupe	Expérience de conduite (mois)	Formation	Km parcourus	Age	Sexe	N
Novice (G1)	- de 2 mois	AT	[0-5000 km]	18	(h : 7 ; f : 9)	16
Expérimenté (G2)	[34-36 mois]	–	[+ de 15000 km]	21	(h : 8 ; f : 8)	16

Une visite médicale a été réalisée avant l'inclusion des participants dans l'étude afin de confirmer leurs bonnes conditions physiques, l'absence de trouble du sommeil, d'abus de substance, et de traitement médicamenteux pendant la durée de l'étude et dans les 15 jours précédents. Les critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude sont présentés dans l'annexe 4. Les informations démographiques ainsi que les habitudes de boisson sont recueillies à travers la complétion d'un questionnaire. Les participants signent un consentement écrit libre et éclairé et reçoivent une gratification de 120 euros pour leur participation. Ce protocole expérimental a été approuvé par le Comité de Protection des Personnes Sud-Méditerranée I.

5.2. Matériel

L'expérimentation a été réalisée sur le simulateur de conduite présenté au point 2.2.

Les participants consomment une boisson composée de vodka et jus d'orange. Afin que le niveau d'alcool dans le sang (BAC) atteigne le taux désiré, la formule suivante de Widmark a été utilisée :

Pour les hommes :

$[3,82 - (0,143 * \text{Age}) + (0,168 * \text{Taille}) + (0,525 * \text{Poids})] / \text{BAC souhaité} = \text{Nombre de grammes d'alcool}$

Pour les femmes :

$[-3,67 + (0,187 * \text{Taille}) + (0,432 * \text{Poids})] * \text{BAC souhaité} = \text{Nombre de grammes d'alcool}$

Puis : $(\text{Nombre de gramme d'alcool} * 3) / 10 = \text{Nombre de cl d'alcool}$.¹⁰

Le niveau de BAC est mesuré à l'aide d'un éthylotest électronique (SD-400 DJP/LION).

5.3. Procédure

Lors de la visite médicale, les conducteurs auto-évaluent leur prise de risques au volant en complétant le Driving Behaviour Questionnaire (DBQ) et remplissent les diverses échelles d'évaluations. Le DBQ et les échelles d'évaluations sont présentés respectivement dans l'expérience 1 et 2.

Les conducteurs sont ensuite invités à participer à trois sessions expérimentales correspondant chacune à un des trois niveaux de BAC testés (0,0 gr/L vs 0,2 gr/L vs 0,5 gr/L). Chaque session expérimentale comprend la consommation d'une boisson ainsi que 30 minutes de tests sur simulateur. Les participants doivent boire l'intégralité de la boisson dans un laps de temps de 10

¹⁰ Par exemple, pour un BAC désiré de 0,5 gr/L chez un homme de 18 ans qui mesure 1,75m et pèse 65kg.

$[3,82 - (0,143 * 18) + (0,168 * 175) + (0,525 * 65)] / 0,5 = 32,39$ gr d'alcool
 $(32,39 * 3) / 10 = 9,7$ cl d'alcool.

Pour un BAC désiré de 0,2 gr/L chez une femme de 18 ans qui mesure 1,67m et pèse 58kg.

$[-3,67 + (0,187 * 167) + (0,432 * 58)] * 0,2 = 10,52$ gr d'alcool
 $(10,52 * 3) / 10 = 3,16$ cl d'alcool.

minutes. Le niveau de BAC est mesuré 15 minutes après que le participant a terminé son verre, puis toutes les cinq minutes jusqu'à ce que le niveau de BAC désiré soit obtenu. L'expérience, réalisée en simple aveugle, se déroule durant la phase descendante du BAC. L'ordre de passation des sessions expérimentales est contrebalancé entre tous les sujets.

La double tâche et les tâches simples utilisées dans cette expérience ont été présentées au point 2.3. Toutefois, des contrôles supplémentaires ont été inclus. Chaque écran de projection des images simulées (central, périphérique gauche et périphérique droite) a été subdivisé en 4 quart d'écrans (supérieur droit ; supérieur gauche ; inférieur droit ; inférieur gauche). La distribution de la localisation d'apparition des nombres en fonction de la tâche (simple vs double) est présentée en annexe 4.

De plus, les effets de l'alcool s'estompant au cours du temps, la tâche de suivi de véhicule a été réduite : un tiers des séquences a été supprimé pour s'assurer que l'expérience se déroule en phase d'intoxication aiguë d'alcool. La distribution de séquences en fonction de la tâche (simple vs double) est présentée en annexe 4.

Pour éviter un effet d'apprentissage, les participants réalisent un entraînement avant le début de la première session expérimentale. Une période d'au moins un jour sépare chaque session expérimentale de la suivante.

5.4. Résultats

5.4.1. Résultats au DBQ

Un effet du type de comportements aberrants a été mis en évidence ($F(2, 60) = 60,849, p < 0,05$). Les conducteurs rapportent plus de violations ($M = 0,7 ; SD = 0,43$) que d'erreurs d'inattention ($M = 0,61 ; SD = 0,36$) et d'erreurs graves ($M = 0,36 ; SD = 0,35$) ($p < 0,05$). Ils rapportent également significativement plus d'erreurs d'inattention que d'erreurs graves ($p < 0,05$).

5.4.2. Résultats aux échelles d'évaluation

Les résultats obtenus aux échelles d'évaluation sont présentés dans le tableau 15

Tableau 15. Score aux échelles d'évaluation (Ecart-type entre parenthèse).

	Soi	Groupe d'appartenance	Population générale	F
Conduite générale	5 (1,1)	4,4(1,3)	6,7 (1,3)	F (2, 60) = 50,86, p < 0,05
Dangerosité	5,6 (1,6)	6,1 (1,7)	3,1 (1,6)	F (2, 60) = 47,98, p < 0,05
Capacité de conduite	5,9 (1,2)	5,8 (1,5)	6,7 (1,2)	F (2, 60) = 8,20, p < 0,05
Risque d'accident	5,9 (1,6)	7,1 (1,7)	4,9 (2,1)	F (2, 60) = 24,88, p < 0,05

De manière générale, les conducteurs s'auto-évaluent comme meilleurs conducteurs et ayant de plus grandes capacités que la population générale ($p < 0,05$) et que leur groupe d'appartenance ($p < 0,05$). Toutefois une interaction tendancielle entre la population visée par la question (population générale, groupe d'appartenance, soi) et l'expérience de conduite concernant l'évaluation des capacités du conducteur indique que seuls les conducteurs expérimentés s'auto-évaluent comme ayant de plus grandes capacités que la population générale et leur groupe d'appartenance ($F(2, 60)=2,55, p=,086$).

De plus les conducteurs s'auto-évaluent comme étant moins dangereux et ayant un risque d'accident plus faible que la population générale ($p < 0,05$) et que leur groupe d'appartenance ($p < 0,05$). Ils évaluent le risque d'accident de leur groupe d'appartenance comme étant plus élevé que celui de la population générale ($p < 0,05$).

5.4.3. Résultats de l'expérience sur simulateur de conduite

Rappelons que les performances du conducteur dans les séquences d'accélération ont été supprimées de nos analyses, seules les performances dans les séquences de freinage sont prises en compte.

5.4.3.1. BAC

Les mesures de BAC enregistrées en début et en fin de session expérimentale sont présentées dans le tableau 16.

Tableau 16. BAC enregistrés en début et fin de sessions expérimentales (Ecart-type entre parenthèse).

	0,2 gr/L		0,5 gr/L	
	Début	Fin	Début	Fin
Novice	0,19 (0,07)	0,15 (0,06)	0,49 (0,08)	0,49 (0,05)
Expérimenté	0,18 (0,06)	0,15 (0,05)	0,49 (0,07)	0,48 (0,04)

5.4.3.2. Effets de la tâche

Les effets de la tâche sur les performances du conducteur sont résumés dans le tableau 17.

Tableau 17. Performances en fonction de la tâche (Ecart-type entre parenthèse).

		Tâche simple	Double tâche	F
Vitesse	Temps de régulation de vitesse (sec)	7,9 (2,2)	10,2 (3,7)	F(1, 30)= 58,69, p < 0,05
	Indice de variation de vitesse	26,3 (7,2)	22,5 (8,1)	F(1, 30)= 26,47, p < 0,05
	Nbr appui frein	2,4 (1,7)	2,8 (1,7)	F(1, 29)= 6,68, p < 0,05 *
	Tps de décélération (sec)	10,1 (2,2)	9,3 (2,2)	F(1, 30) = 7,41, p < 0,05
Position	Position moy sur la voie (cm)	130,6 (17,7)	136,2 (17,9)	F(1, 30)= 17,45, p < 0,05
	SDLP (cm)	12,2 (3,7)	13,6 (4,3)	F(1, 30)= 11,48, p < 0,05
	Amp max sortie de voie (cm)	718,6 (138,8)	726,9 (135,1)	F(1, 30)= 3,12, p = 0,087
Distance	DIV mini (m)	29,5 (5)	30,5 (6,3)	F(1, 30)= 11,04, p < 0,05
	DIV maxi (m)	40,2 (12)	50,9 (16,2)	F(1, 30)= 29,69, p < 0,05
	DIV moy (m)	33,4 (8,8)	41,5 (16,4)	F(1, 30)= 26,30, p < 0,05
	DIV médiane (m)	31,5 (8,3)	38,1 (15,4)	F(1, 30)= 20,33, p < 0,05
	DIV écart-type (m)	43,6 (24,4)	64,2 (40,7)	F(1, 30)= 48,44, p < 0,05
	Tps de régulation de distance (sec)	7,3 (3,2)	5,3 (2)	F(1, 29)=138,87, p < 0,05
Tâche de jugement de parité	TR (sec)	0,87 (0,11)	0,84 (0,10)	F(1, 30)=11,013, p < 0,05
	RC (%)	90,7 (9)	86,2 (12,7)	F(1, 30)=28,883, p < 0,05
	RI (%)	5,9 (5,8)	7,4 (6,4)	F(1, 30)=13,082, p < 0,05
	O (%)	3,3 (6)	6,5 (10)	F(1, 30)=15,689, p < 0,05

* Une des données est manquante : un individu n'a pas appuyé sur la pédale de frein.

Comme dans l'expérience 2, la réalisation d'une double-tâche dégrade les performances à la tâche secondaire mais aussi les performances de conduite à la tâche de suivi de véhicule. En effet, lorsque les conducteurs sont placés en double tâche, une chute du pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire ainsi qu'une augmentation du pourcentage d'erreurs et d'omissions sont constatées. Par ailleurs, la double tâche perturbe également les performances de conduite puisque les conducteurs présentent une augmentation du temps de régulation de la vitesse et du nombre d'appuis sur la pédale de frein ainsi que des difficultés de régulation de distance (augmentation de la variabilité de la DIV). Par ailleurs, en double tâche, les conducteurs adoptent une DIV plus longue comparativement à la tâche simple de suivi de véhicule. De plus, contrairement à l'expérience précédente, les conducteurs ont des SDLP supérieures en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule.

De nouveau, des résultats surprenants sont trouvés en tâche simple de suivi de véhicule : les conducteurs présentent des difficultés pour gérer la vitesse du véhicule se traduisant par une augmentation de l'indice de variations de vitesse et du temps mis pour lâcher la pédale d'accélérateur suite à un freinage du véhicule lièvre. De plus des difficultés de régulation de distance (augmentation du temps de régulation de distance) sont notées en tâche simple de suivi de véhicule. Enfin, les sujets mettent plus de temps pour juger de la parité du nombre lors de la tâche simple de jugement de parité de nombre que lors de la double tâche.

5.4.3.3. Effets des séquences complexes

Les effets des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Performances de conduite en fonction de la complexité de la séquence (Ecart-type entre parenthèse).

	Complexité -	Complexité +	F
--	--------------	--------------	---

Vitesse	Tps de régulation de vitesse (sec)	8,1 (2,3)	10 (3,8)	F (1, 30) = 53,05, p < 0,05
	Indice de variation de vitesse	25,6 (6,9)	24,4 (7,8)	F (1, 30) = 5,81, p < 0,05
	Nbr appui frein	2 (1,5)	2,9 (1,7)	F (1, 29) = 31,13, p < 0,05 *
	Tps décel (sec)	9,6 (2,2)	9,9 (2,3)	F (1, 30) = 6,75, p < 0,05
Position	SDLP (cm)	12,7 (4)	13,1 (4,1)	F (1, 30) = 4,80, p < 0,05
Distance	DIV min (m)	32,8 (6,1)	26,9 (4,1)	F (1, 29) = 121,90, p < 0,05 *
	DIV max (m)	42,1 (13)	49 (16,5)	F (1, 29) = 25,29, p < 0,05 *
	DIV médiane (m)	36,8 (13,9)	32,8 (11,3)	F(1, 30) = 48,41, p < 0,05
	DIV écart-type (m)	34,7 (15,8)	73,1 (38,4)	F(1, 30) = 104,96, p < 0,05
	Tps de régulation de distance (sec)	7 (3,3)	5,7 (2,6)	F (1, 29) = 24,08, p < 0,05 *
	Indice de variation de distance	9,1 (4,9)	9,9 (4)	F (1, 30) = 7,44, p < 0,05

* Une des données est manquante, un individu a été supprimé des analyses.

Lors des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule (freinage de forte amplitude), les conducteurs présentent des difficultés dans l'ensemble des sphères du comportement de conduite (position, distance et vitesse). Elles se manifestent par des difficultés à maintenir une trajectoire stable sur la voie (augmentation des SDLP), ainsi qu'à réguler la vitesse (augmentation du temps de régulation, du temps de décélération, et du nombre d'appuis sur la pédale de frein) et la distance (augmentation de l'indice de variation de distance et de la variabilité de la DIV moy). De plus, les conducteurs réduisent leur DIV lors des séquences complexes.

Toutefois, lors des séquences peu complexes de la tâche de suivi, les résultats montrent une augmentation de l'indice de variation de vitesse ainsi qu'une augmentation du temps de régulation de la distance.

5.4.3.3.1. Les effets de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule varient-ils en fonction de la tâche ?

- Interaction significative entre la tâche et la complexité des séquences de la tâche de suivi¹¹ sur :

¹¹ Pour rappel, les séquences peu complexes correspondent à des freinage de faible amplitude du véhicule lièvre (- 10 km/h , - 15 km/h , - 20 km/h) et les séquences complexes à un freinage de forte amplitude du véhicule lièvre (-35 km/h , -40km/h, -45km/h).

- **le nombre de sorties de voies** du véhicule piloté par le conducteur ($F(1, 30) = 5,17, p < 0,05$) (voir fig. 31).

En tâche simple de suivi de véhicule, les conducteurs sortent plus souvent de leurs voies lors des séquences peu complexes que lors des séquences complexes ($p < 0,05$). De plus, lors des séquences peu complexes de la tâche de suivi, les conducteurs sortent plus souvent de leur voie en tâche simple qu'en double tâche ($p < 0,05$).

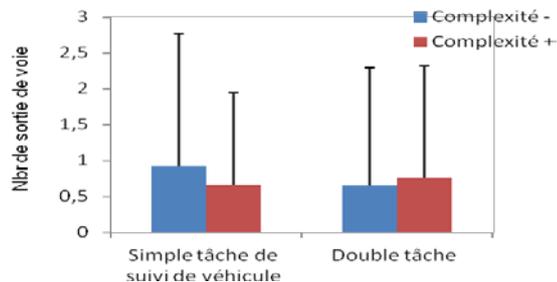


Figure 31. Nombre de sorties de voie en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule

- **le temps passé hors des limites de la voie** ($F(1, 30) = 5,05, p < 0,05$) (voir fig. 32).

Lors des séquences peu complexes, les conducteurs passent plus de temps hors des limites de la voie en tâche simple qu'en double tâche ($p < 0,05$).

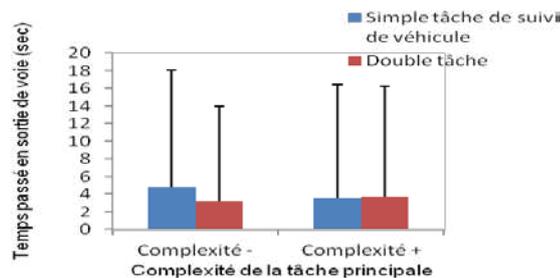


Figure 32. Temps passé en sortie de voie en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

- **le temps de régulation de vitesse** ($F(1, 30) = 12,16, p < 0,05$) (voir fig.33).

L'augmentation du temps de régulation de vitesse lors des séquences complexes est plus élevée en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$).

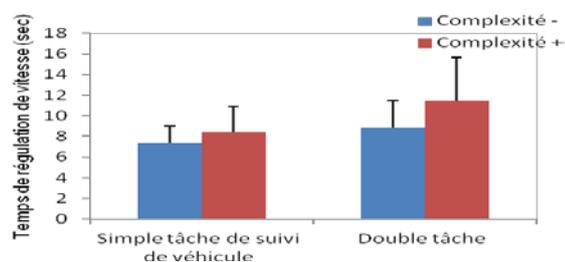


Figure 33. Temps de régulation de vitesse en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

- **la vitesse minimum** adoptée par le conducteur ($F(1, 30) = 7,74, p < 0,05$) (voir fig. 34).

Les conducteurs sont sensibles à la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule, uniquement lorsqu'ils sont en tâche simple de suivi. Ils adoptent alors une vitesse minimum plus élevée (c'est-à-dire plus proche de celle du véhicule lièvre) lors des séquences peu complexes que lors des séquences complexes ($p < 0,05$). De plus, lors des séquences complexes, les conducteurs adoptent une vitesse minimum plus élevée (c'est-à-dire plus proche de celle du véhicule lièvre) en double tâche qu'en simple tâche ($p < 0,05$).

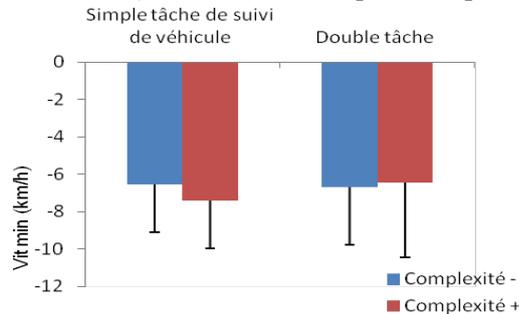


Figure 34. Vitesse minimum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

- la distance minimum adoptée par le conducteur ($F(1, 29) = 4,46, p < 0,05$) (voir fig. 35).

Que ce soit en tâche simple de suivi de véhicule, ou en double tâche, les conducteurs réduisent leurs DIV lors des séquences complexes ($p < 0,05$), et ceci de manière plus prononcée en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$). Enfin, dans la condition de faible complexité, les conducteurs adoptent une distance inter-véhiculaire minimum plus longue en double tâche qu'en tâche simple ($p < 0,05$).

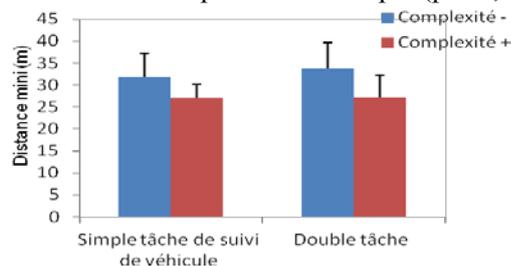


Figure 35. Distance minimum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

- l'indice de variation de distance ($F(1, 30) = 29,67, p < 0,05$) (voir fig. 36).

En tâche simple de suivi de véhicule, les conducteurs présentent un indice de variation de vitesse plus élevé lors des séquences peu complexes que lors des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule ($p < 0,05$). Les résultats inverses sont trouvés en double tâche : les conducteurs présentent plus de difficulté pour réguler leur DIV pendant les séquences complexes de la tâche de suivi ($p < 0,05$).

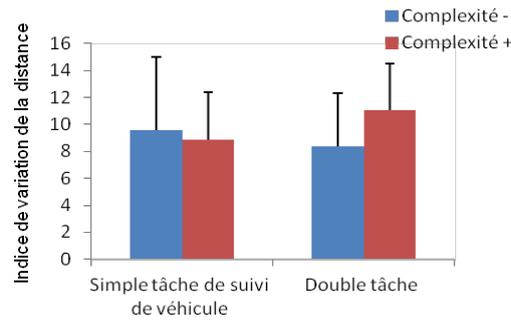


Figure 36. Indice de variation de la distance en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

- les écarts-types de *DIV* ($F(1, 30) = 28,53, p < 0,05$) (voir fig. 37).

En tâche simple de suivi de véhicule, comme en double tâche, les écarts types de *DIV* augmentent pendant les séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule comparativement aux séquences peu complexes ($p < 0,05$). De plus, les écarts types de *DIV* sont plus élevés en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule, quelle que soit la complexité des séquences de la tâche de suivi ($p < 0,05$).

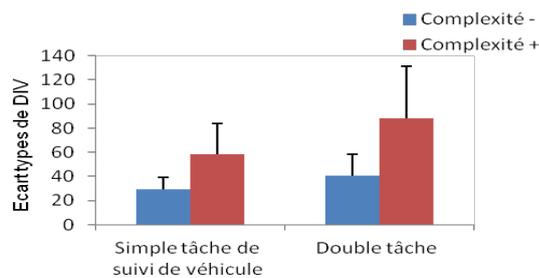


Figure 37. Ecart type de *DIV* en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

5.4.3.4. Effet de la localisation de présentation de l'information

Les effets de la localisation de présentation de l'information sur les performances du conducteur sont résumés dans le tableau 19.

Tableau 19. Performances à la tâche secondaire en fonction de la localisation de présentation de l'information (Ecart-types entre parenthèses).

		Centre	Gauche	Droite	F
Tâche de jugement de parité	TR (sec)	0,76 (0,08)	0,89 (0,09)	0,92 (0,08)	$F(2, 60) = 629,54, p < 0,05$
	RC (%)	96 (5,2)	87,6 (9,6)	81,7 (12,5)	$F(2, 60) = 81,272, p < 0,05$
	RI (%)	3,3 (3)	6,7 (5,2)	9,9 (7,5)	$F(2, 60) = 43,779, p < 0,05$
	O (%)	0,7 (3,8)	5,6 (7,6)	8,4 (10,4)	$F(2, 60) = 29,287, p < 0,05$

Les conducteurs mettent plus de temps à identifier une information présentée en périphérie (droite et gauche) qu'une information présentée au centre de la scène visuelle ($p < 0,05$). Ils mettent également plus de temps pour identifier une information en périphérie droite qu'en périphérie gauche ($p < 0,05$).

Les conducteurs font également moins de réponses correctes, plus d'erreurs et plus d'omissions quand un nombre est présenté en périphérie que lorsqu'il est présenté au centre de la scène ($p < 0,05$). Ils font également moins de réponses correctes, plus d'erreurs et plus d'omissions lorsqu'un nombre est présenté en périphérie droite que lorsqu'il est présenté en périphérie gauche ($p < 0,05$).

5.4.3.4.1. Les effets de la localisation de présentation de l'information varient-ils en fonction de la tâche ?

- Interactions significatives entre la tâche et la localisation de présentation de l'information sur :

- **le temps de réponse** pour juger la parité d'un nombre ($F(2, 60) = 8,15, p < 0,05$) (voir fig. 38).

En tâche simple de jugement de parité de nombre, comme en double tâche, le conducteur met plus de temps pour juger la parité d'un nombre présenté en périphérie (droite ou gauche) qu'au centre ($p < 0,05$). Ils mettent également significativement plus de temps pour juger la parité d'un nombre présenté en périphérie droite comparativement à un nombre présenté en périphérie gauche ($p < 0,05$).

De plus, lorsqu'un nombre est présenté en périphérie, le conducteur est plus rapide pour juger la parité d'un nombre en double tâche qu'en tâche simple de référence ($p < 0,05$). Cette différence de temps de réponse en fonction de la tâche ne se retrouve pas quand le nombre est présenté au centre de la scène visuelle ($p > 0,05$).

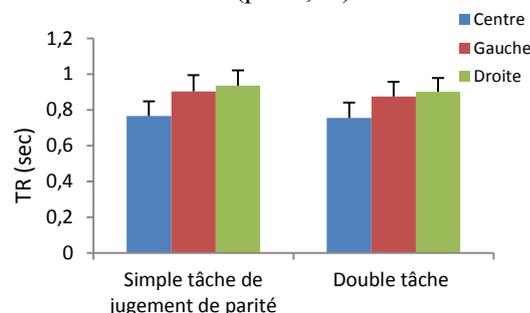


Figure 38. Temps de réponse en fonction de la tâche et de la localisation de présentation des nombres.

- **le pourcentage de réponses correctes** ($F(2, 60) = 21,75, p < 0,05$) (voir fig. 39).

En tâche simple de jugement de parité de nombre, comme en double tâche, les conducteurs ont un pourcentage de réponses correctes inférieur en présentation périphérique (droite ou gauche) qu'en présentation centrale ($p < 0,05$). Ils ont également un pourcentage de réponses correctes inférieur lorsque le nombre apparaît en périphérie droite que lorsqu'il apparaît en périphérie gauche ($p < 0,05$).

De plus, quand le nombre est présenté en périphérie, le conducteur a un pourcentage de réponses correctes inférieur en double tâche qu'en tâche simple de jugement de parité de nombre ($p < 0,05$).

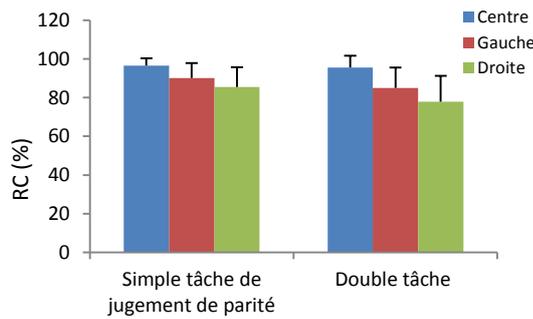


Figure 39. Pourcentage de réponses correctes en fonction de la tâche et de la localisation de présentation des nombres.

- le pourcentage d'erreurs ($F(2, 60) = 5,94, p < 0,05$) (voir fig. 40).

En tâche simple de jugement de parité de nombre, comme en double tâche, les conducteurs ont un pourcentage d'erreurs supérieur en présentation périphérique (droite ou gauche) qu'en présentation centrale ($p < 0,05$). Ils font également plus d'erreurs en périphérie droite qu'en périphérie gauche ($p < 0,05$).

De plus, lorsque les nombres sont présentés en périphérie droite du conducteur, le pourcentage d'erreurs des conducteurs augmente en double tâche ($p < 0,05$).

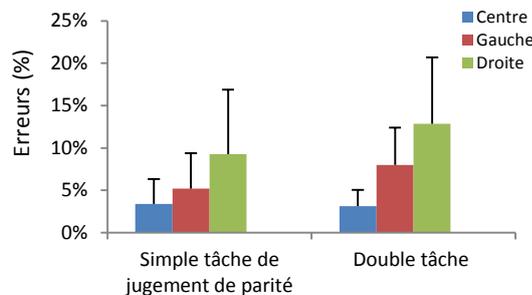


Figure 40. Pourcentage d'erreurs en fonction de la tâche et de la localisation de présentation des nombres

- le pourcentage d'omissions ($F(2, 60) = 12,41, p < 0,05$) (voir fig. 41).

En tâche simple de jugement de nombres, comme en double tâche, les conducteurs ont un pourcentage d'omissions supérieur en périphérie (droite ou gauche) qu'au centre de la scène visuelle ($p < 0,05$). Ils ont également un pourcentage d'omissions supérieur en périphérie droite qu'en périphérie gauche ($p < 0,05$). De plus, lorsque les nombres sont présentés en périphérie, le pourcentage d'omissions augmente en double tâche ($p < 0,05$).

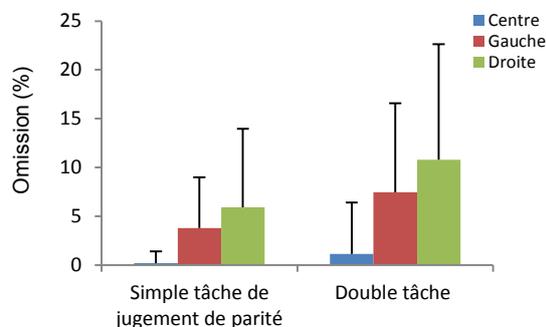


Figure 41. Pourcentage d'omissions en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre.

5.4.3.5. Effets de l'expérience de conduite

Les effets de l'expérience sur les performances de conduite des jeunes conducteurs sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20. Performances en fonction de l'expérience du conducteur (Ecart-types entre parenthèse).

		Novice	Expérimenté	F
Vitesse	Vit min (km/h)	- 7,6 (3,2)	- 5,9 (2,7)	F (1, 30) = 6,2017, p < 0,05
	Nbr appui frein	3 (1,8)	2,4 (1,5)	F (1, 29) = 3,2102, p = 0,08 *
Position	SDLP (cm)	13,7 (4,3)	12,1 (3,6)	F (1, 30) = 2,9271, p = 0,09
Distance	Tps de régulation de distance (sec)	6,8 (3,2)	5,6 (2,3)	F (1, 29) = 5,7755, p < 0,05 *
Tâche de jugement de parité	TR (sec)	0,88 (0,12)	0,83 (0,09)	F (1, 30) = 4,4283, p < 0,05

* Une des données est manquante, un individu a été supprimé des analyses.

L'analyse des résultats met en évidence des performances de conduite plus faibles pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés. Les conducteurs novices présentent des difficultés à maintenir une position stable sur la voie (augmentation des SDLP), ainsi qu'à réguler leur vitesse (augmentation du nombre d'appuis sur la pédale de frein) et leur distance (augmentation du temps de régulation de distance). Toutefois, les conducteurs novices adoptent une vitesse minimum plus basse que celle des conducteurs expérimentés. Enfin, les conducteurs novices mettent plus de temps pour identifier la parité d'un nombre que les conducteurs expérimentés.

5.4.3.5.1. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la tâche ?

- Interactions tendancielle entre l'expérience de conduite et la tâche sur :

- **la vitesse maximum** adoptée par le conducteur (F (1, 30) = 3,19, p = 0,08) (voir fig. 42).

Lorsque les conducteurs sont placés en double tâche, les novices ont tendance à adopter une vitesse maximum plus élevée que les expérimentés (p < 0,05). Ces résultats ne se retrouvent pas en tâche simple de suivi de véhicule (p > 0,05).

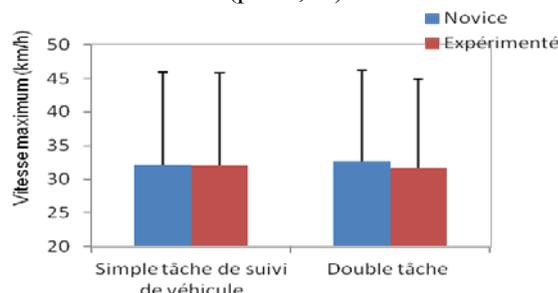


Figure 42. Vitesse maximum en fonction de la tâche et de l'expérience de conduite.

- **le temps de régulation de distance** (F (1, 30) = 3,37, p = 0,07) (voir fig. 43).

Quelle que soit l'expérience des conducteurs, ils mettent tous plus de temps pour atteindre la distance de référence avec le véhicule lièvre en tâche simple de suivi de véhicule qu'en double tâche ($p < 0,05$). De plus, en tâche simple de suivi de véhicule, les conducteurs novices mettent plus de temps pour atteindre la distance de référence avec le véhicule suivi que les conducteurs expérimentés ($p < 0,05$).

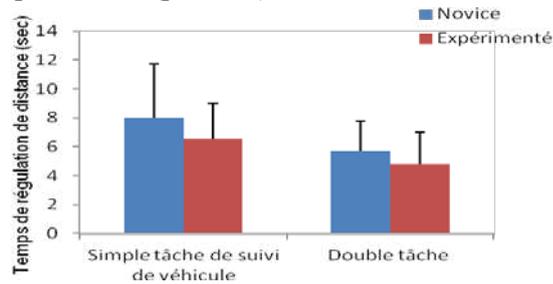


Figure 43. Temps de régulation de distance en fonction de la tâche et de l'expérience du conducteur.

- *l'indice de variation de distance* ($F(1, 30)=3,57, p = 0,06$) (voir fig. 44).

Les conducteurs novices ont plus de difficulté pour réguler leur distance inter-véhiculaire (augmentation de l'indice de variation de distance) en double tâche qu'en simple tâche ($p < 0,05$). Aucun impact de la tâche n'a été mis en évidence concernant l'indice de variation de distance des conducteurs expérimentés ($p > 0,05$).

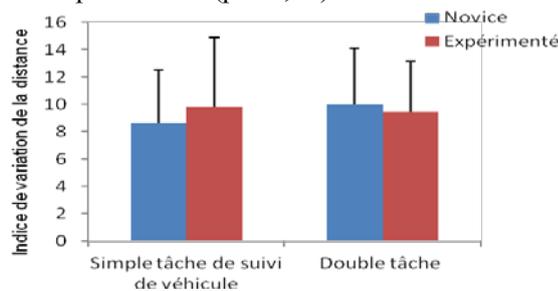


Figure 44. Indice de variation de distance en fonction de la tâche et de l'expérience de conduite.

5.4.3.5.2. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule ?

• Interaction significative entre l'expérience de conduite et la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule sur :

- *le temps de régulation de vitesse* ($F(1, 30)=5,59, p < 0,05$) (voir fig. 45).

Lors des séquences complexes, les conducteurs mettent plus de temps à adopter la vitesse du véhicule lièvre que lors des séquences peu complexes, et ceci quelle que soit l'expérience du conducteur ($p < 0,05$). Toutefois, la dégradation du temps de régulation de vitesse lors des séquences complexes est plus grande pour les expérimentés que pour les novices ($p < 0,05$).

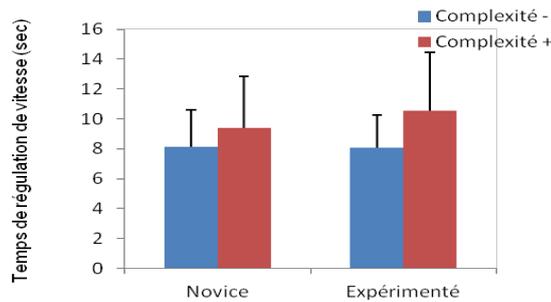


Figure 45. Temps de régulation de vitesse en fonction de l'expérience du conducteur et de la complexité des séquences de la tâche de suivi.

• Interaction tendancielle entre l'expérience de conduite et la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule sur :

- *le temps de régulation de distance* ($F(1, 30) = 3,54, p = 0,07$) (voir fig. 46).

Seuls les conducteurs novices présentent des difficultés à réguler leur DIV lors des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule ($p < 0,05$).

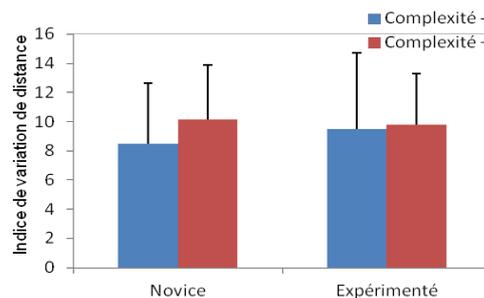


Figure 46. Indice de variation de distance en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

5.4.3.5.2.1. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la tâche et de la complexité des séquences ?

• Interaction significative entre la tâche, l'expérience de conduite et la complexité des séquences sur :

- *l'indice de variation de distance* ($F(1, 30) = 13,06, p < 0,05$) (voir fig. 47).

En double tâche, tous les conducteurs présentent des difficultés pour réguler leur distance (augmentation de l'indice de variation de distance) lors des séquences complexes ($p < 0,05$). Les résultats inverses sont retrouvés en simple tâche pour les conducteurs expérimentés qui présentent des difficultés pour réguler leur distance lors des séquences peu complexes de la tâche de suivi de véhicule ($p < 0,05$) alors que les conducteurs novices ne semblent pas sensibles à la complexité des séquences ($p > 0,05$).

D'autre part, seuls les conducteurs expérimentés semblent sensibles à un effet de la tâche et cet effet diffère en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

Lors des séquences peu complexes, ils ont plus de difficultés pour réguler leur distance en tâche simple de suivi de véhicule qu'en double tâche ($p < 0,05$). Par contre, lors des séquences complexes, ils présentent des difficultés pour réguler leur distance en double tâche comparativement à la tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$).

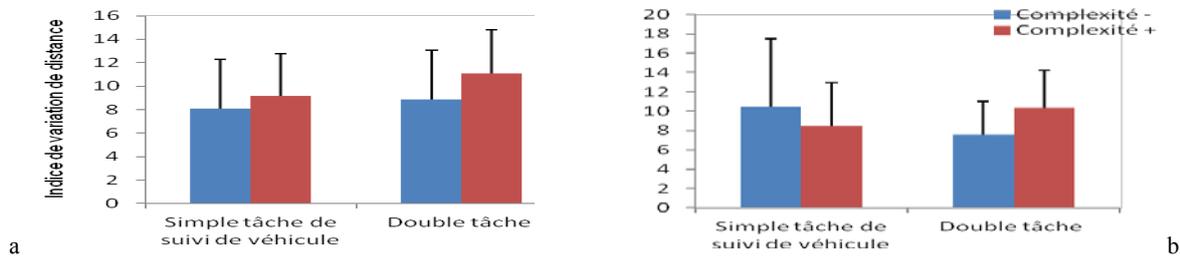


Figure 47. Indice de variation de distance en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés

- Interaction tendancielle entre la tâche, l'expérience de conduite et la complexité des séquences sur

- *le temps de régulation de vitesse* ($F(1, 30) = 3,12, p = 0,08$) (voir fig. 48).

En double tâche, les conducteurs mettent plus de temps pour adopter la vitesse du véhicule lièvre lors des séquences complexes de la tâche de suivi que lors des séquences peu complexes ($p < 0,05$). Ces résultats ne se retrouvent pas en tâche simple de suivi de véhicule ($p > 0,05$).

De plus, les conducteurs novices mettent plus de temps pour adopter la vitesse du véhicule lièvre en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule, et ceci quelle que soit la complexité des séquences ($p < 0,05$). Ces résultats se retrouvent pour les conducteurs expérimentés uniquement lors des séquences complexes de la tâche de suivi ($p < 0,05$).

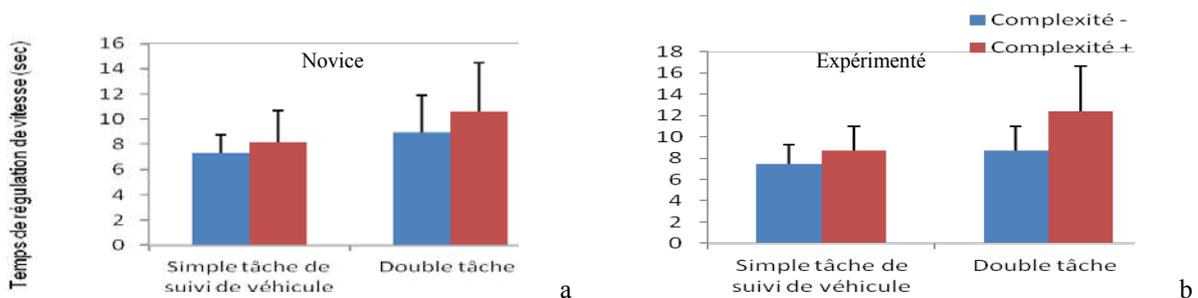


Figure 48. Temps de régulation de vitesse en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

5.4.3.5.3. Les effets de l'expérience varient ils en fonction de la localisation de présentation de l'information ?

- Interaction tendancielle entre l'expérience de conduite et la localisation de présentation de l'information sur :

- *le temps de réponse* ($F(2, 60) = 2,48, p = 0,092$) (voir fig. 49).

Seuls les conducteurs expérimentés mettent plus de temps pour juger de la parité d'un nombre en présentation périphérique droite qu'en présentation périphérique gauche ($p < 0,05$).

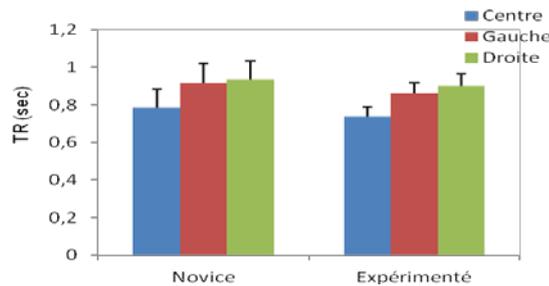


Figure 49. Temps de réponse en fonction de l'expérience de conduite et de la localisation de présentation des nombres.

5.4.3.5.3.1. Les effets de l'expérience varient-ils en fonction de la tâche et de la localisation de présentation de l'information ?

• Interaction tendancielle entre la tâche, l'expérience de conduite et la localisation de présentation du nombre sur :

- *le pourcentage d'erreurs* ($F(2, 60) = 2,44, p = 0,09$) (voir fig. 50).

En double tâche, tous les conducteurs font plus d'erreurs pour juger de la parité d'un nombre lorsqu'il est présenté en périphérie (droite et gauche) plutôt qu'au centre de la scène visuelle ($p < 0,05$). Ils font également plus d'erreurs en périphérie droite qu'en périphérie gauche ($p < 0,05$). Par ailleurs, la distribution du nombre d'erreurs commises en tâche simple de jugement de parité est différente selon l'expérience du conducteur. Les novices ont certes un pourcentage d'erreurs supérieur en périphérie qu'au centre de la scène, mais les résultats ne montrent pas d'effet du côté de présentation (droite ou gauche). En revanche, pour les conducteurs expérimentés, un pattern de résultats différents se dessine en tâche simple de jugement de parité : l'augmentation du pourcentage d'erreurs en périphérie par rapport au centre ne se trouve que du côté droit ($p < 0,05$). De plus, les expérimentés font plus d'erreurs quand un nombre est présenté en périphérie droite que lorsqu'il est présenté en périphérie gauche ($p < 0,05$). Enfin, lorsqu'un nombre est présenté en périphérie, le pourcentage d'erreurs des conducteurs expérimentés en double tâche augmente comparativement à la tâche simple de jugement de parité de nombre ($p < 0,05$).

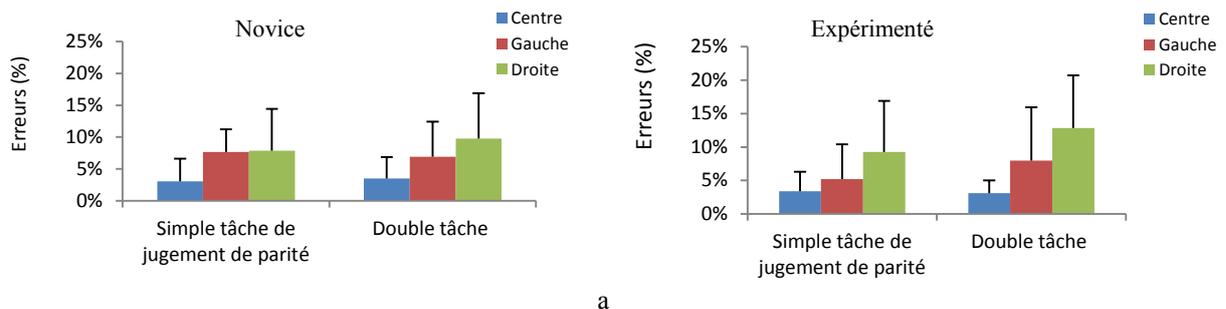


Figure 50. Pourcentage d'erreurs en fonction de la tâche et de la localisation de présentation du nombre : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

5.4.3.6. Effets du BAC

Les effets de l'alcool sur les performances du conducteur sont présentés dans le tableau 21.

Tableau 21. Performances en fonction du BAC (Ecart-types entre parenthèses).

		0.0gr/L	0.2gr/L	0.5gr/L	F
Vitesse	Vit min moy (km/h)	- 6,5 (3)	- 6,5 (3)	- 7,3 (3,2)	F (2, 60) = 3,86, p < 0,05
	Tps freinage (sec)	9,2 (3,9)	9,1 (3,5)	10,1 (4,7)	F (2, 60) = 2,71, p = 0,07
Position	SDLP (cm)	12 (3,3)	12,7 (4,4)	14 (4,2)	F (2, 60) = 8,07, p < 0,05
Distance	Distance min (m)	30,5 (5,8)	30,5 (6,1)	28,9 (5,1)	F (2, 58) = 7,26, p < 0,05 *
Tâche de jugement de parité	RC (%)	89,6 (10)	89 (11,8)	86,8 (11,7)	F (2, 60) = 4,02, p < 0,05
	Erreurs (%)	6,4 (6,3)	5,8 (5,3)	7,8 (6,6)	F (2, 60) = 6,45, p < 0,05

* Deux données sont manquantes, deux individus ont été supprimés de nos analyses

Avec la plus forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), les conducteurs présentent des difficultés à maintenir une position stable sur la voie (augmentation des SDLP) ($p < 0,05$), ils réduisent leur vitesse et ont tendance à mettre plus de temps pour appuyer sur la pédale de frein qu'en condition placebo (BAC de 0,0 gr/L) ($p < 0,05$). De plus, les conducteurs adoptent des DIV plus courtes que dans la condition placebo (BAC de 0,0 gr/L) ($p < 0,05$). Enfin, ils font moins de réponses correctes et plus d'erreurs que dans la condition placebo (BAC de 0,0 gr/L) ($p < 0,05$).

De manière générale, les résultats ne mettent pas en évidence de différence significative entre les performances des conducteurs sous l'influence d'une faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L) et celles lors de la consommation d'une boisson placebo (BAC de 0,0 gr/L) ($p > 0,05$).

5.4.3.6.1. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de la tâche ?

- Interactions significatives entre le BAC et la tâche sur :

- les **SDLP** ($F(2;60) = 4,41, p < 0,05$) (voir fig. 51).

Lors d'une double tâche avec la plus forte dose d'alcool (BAC de 0.5gr/L), les conducteurs ont des SDLP supérieures à l'ensemble des autres conditions (tâche simple et BAC) ($p < 0,05$).

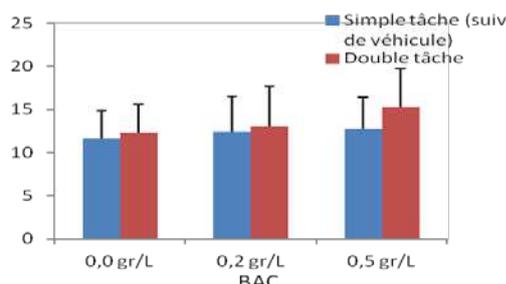


Figure 51. SDLP en fonction du BAC et de la tâche

- *l'amplitude maximum des sorties de voies* ($F(2,60) = 4,95, p < 0,05$) (voir fig. 52).

Avec un BAC de 0.2gr/L, les conducteurs ont une amplitude de sortie de voie plus grande en tâche simple de suivi de véhicule qu'en double tâche ($p < 0,05$). Cette différence ne se retrouve pas avec un BAC de 0.0gr/L, ni avec un BAC de 0.5gr/L ($p > 0,05$).

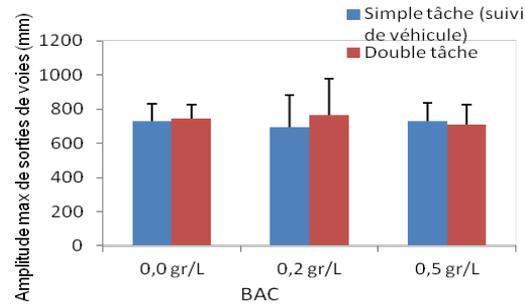


Figure 52. Amplitude maximum des sorties de voies en fonction du BAC et de la tâche.

- *la DIV min* ($F(2,60) = 3,53, p < 0,05$) (voir fig. 53).

La DIV est plus courte en tâche simple de suivi de véhicule qu'en double tâche, uniquement avec un BAC de 0,2 gr/L ($p < 0,05$). De plus, en double tâche, les conducteurs adoptent une DIV minimum plus courte avec un BAC de 0.5gr/L qu'avec un BAC de 0.2gr/L ($p < 0,05$). Aucune différence n'a été mise en évidence avec la condition placebo (BAC de 0.0gr/L) ($p > 0,05$).

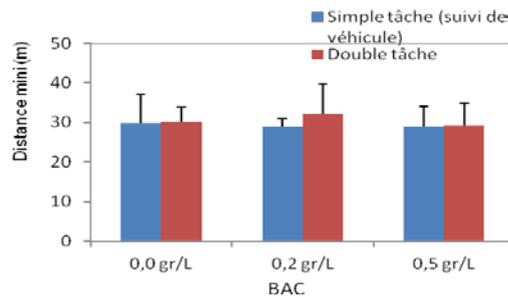


Figure 53. DIV minimum (m) en fonction du BAC et de la tâche.

- Interactions tendancielle entre le BAC et la tâche sur :

- *le temps de régulation de vitesse* ($F(2, 60) = 2,74, p = 0,07$) (voir fig. 54).

L'interférence liée à la réalisation d'une double tâche (augmentation du temps mis pour atteindre la vitesse du véhicule lievre en double tâche par rapport à la tâche simple ($p < 0,05$)) augmente en fonction de la dose d'alcool ingérée ($p < 0,05$).

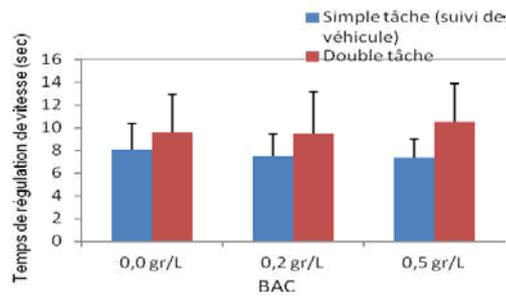


Figure 54. Temps de régulation de vitesse en fonction du BAC et de la tâche.

- le nombre d'appuis sur la pédale de frein ($F(2, 60) = 2,73, p = 0,07$) (voir fig. 55).

Avec un placebo (BAC de 0,0 gr/L), les conducteurs ont tendance à appuyer plus souvent sur la pédale de frein en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$). Cette différence de nombre d'appuis sur la pédale de frein en fonction de la tâche ne se retrouve pas lorsque le conducteur est alcoolisé ($p > 0,05$).

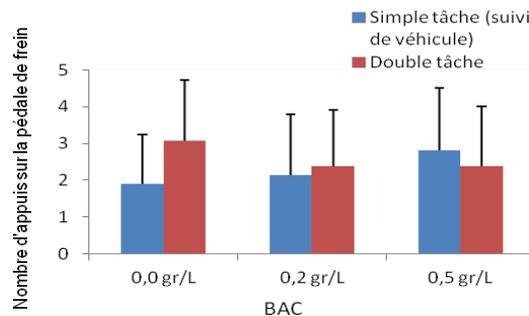


Figure 55. Nombre d'appuis sur la pédale de frein en fonction du BAC et de la tâche.

5.4.3.6.2. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi ?

- Interaction significative entre le niveau de BAC et la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule sur :

- la *DIV minimum* ($F(2, 58) = 2,97, p < 0,05$) (voir fig. 56).

Que ce soit en condition placebo ou alcoolisée (faible et forte dose), tous les conducteurs réduisent leur DIV lors des séquences complexes. De plus, lors des séquences complexes, les conducteurs ont tendance à allonger leurs DIV minimum de manière proportionnelle au BAC ($p < 0,05$).

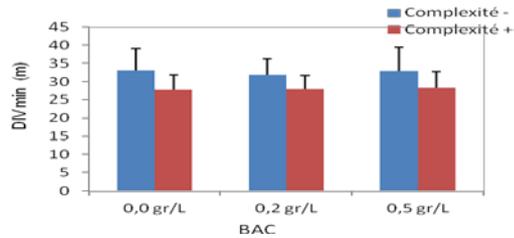


Figure 56. DIV minimum en fonction du BAC et de la complexité de la tâche de suivi de véhicule.

- Interactions tendancielle entre le niveau de BAC et la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule sur :

- *le nombre de sorties des voies* ($F(2, 60) = 2,83, p = 0,07$) (voir fig. 57).

Dans la condition placebo (BAC de 0.0gr/L), les conducteurs ont tendance à sortir plus fréquemment de leur voie lors des séquences peu complexes de la tâche que lors des séquences complexes.

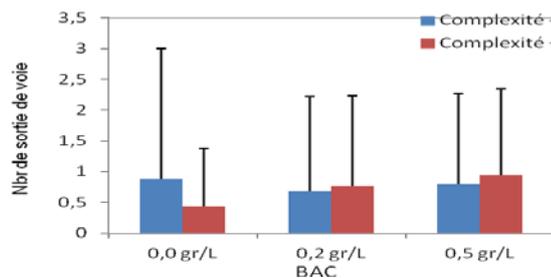


Figure 57. Nombre de sorties de voie en fonction du BAC et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

- *le temps de régulation de distance* ($F(2,58) = 2,62, p = 0,08$) (voir fig. 58).

Lors des séquences peu complexes de la tâche de suivi, les conducteurs ont tendance à mettre plus de temps pour atteindre la distance de référence avec le véhicule lièvre avec un BAC de 0.5 gr/L comparativement à la condition placebo (BAC de 0.0gr/L) ($p < 0,05$). De plus, lorsque les conducteurs sont alcoolisés (BAC de 0.2gr/L et BAC de 0.5gr/L), ils mettent plus de temps pour atteindre la distance de référence avec le véhicule lièvre lors des séquences peu complexes que lors des séquences complexes ($p < 0,05$).

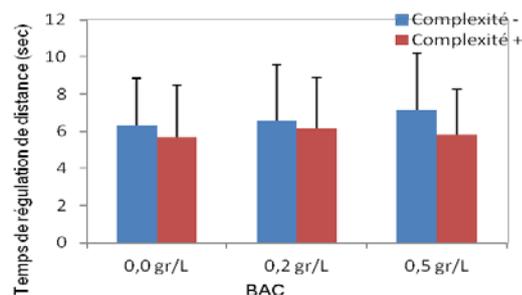


Figure 58. Temps de régulation de distance en fonction du BAC et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule.

5.4.3.6.2.1. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule?

• Interactions significatives entre le BAC, la tâche et la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule sur :

- la **DIV minimum** ($F(2, 58) = 3,59, p < 0,05$) (voir fig. 59).

Dans la condition placebo (BAC de 0,0gr/L) et forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), en tâche simple de suivi de véhicule comme en double tâche, les conducteurs réduisent leurs DIV minimum lors des séquences complexes ($p < 0,05$). Dans la condition de faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L), la réduction de la DIV min lors des séquences complexes se retrouve uniquement en double tâche ($p < 0,05$).

De plus, lors des séquences peu complexes sous l'influence d'une faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L), les conducteurs allongent leurs DIV minimum en double tâche ($p < 0,05$).

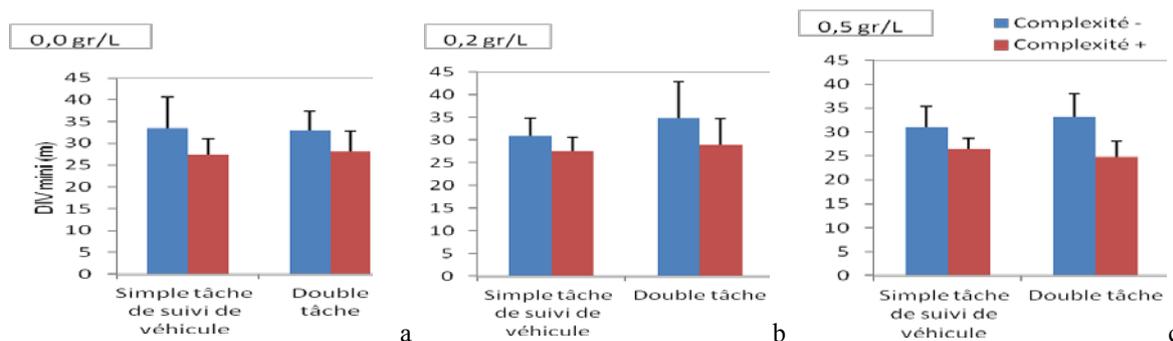


Figure 59. DIV minimum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.

- l'**amplitude maximum des sorties de voies** ($F(2, 60) = 3,06, p < 0,05$) (voir fig. 60).

Lors des séquences complexes, les conducteurs ayant ingéré une faible dose d'alcool (BAC de 0.2gr/L) ont une amplitude maximum de sortie de voie supérieure en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$).

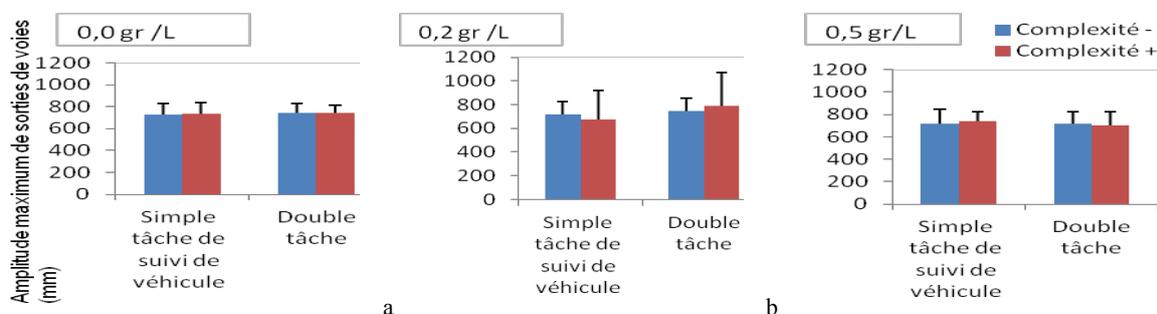


Figure 60. Amplitude maximum de sortie de voie en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.

- Interactions tendanciennes entre le BAC, la tâche et la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule sur :

- *le moment d'appui sur la pédale de frein* ($F(2, 60) = 2,40, p = 0,09$) (voir fig. 61).

En double tâche, les conducteurs mettent plus de temps à freiner avec un BAC de 0.5gr/L en comparaison à la condition placebo lors des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule ($p < 0,05$). En revanche, lors des séquences peu complexes, ils mettent plus de temps à freiner avec un BAC de 0.5gr/L qu'avec un BAC de 0.2gr/L ($p < 0,05$). Par ailleurs, lors des séquences complexes et sous l'influence d'une forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), les conducteurs mettent plus de temps à freiner en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$).

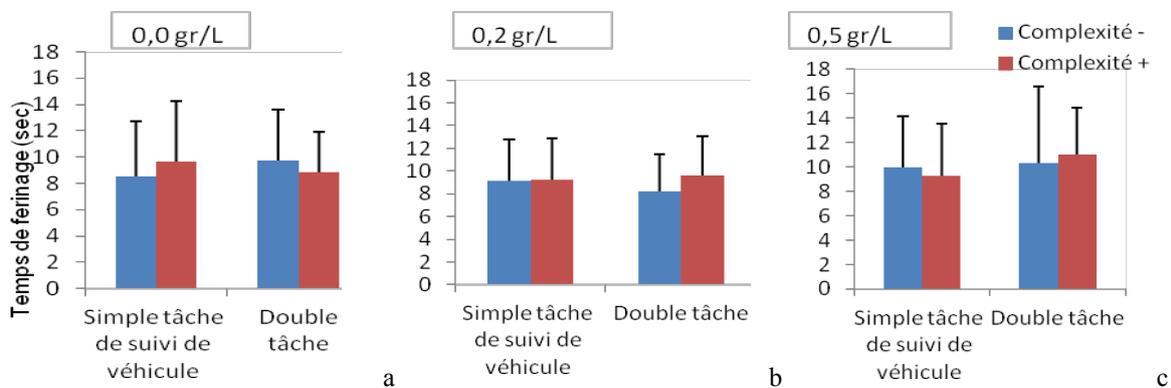


Figure 61. Temps de freinage en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.

- *la DIV maximum* ($F(2, 58) = 2,85, p = 0,07$) (voir fig. 62).

Avec un placebo et avec une forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), les conducteurs allongent leur DIV maximum en double tâche, indépendamment de la complexité de la séquence de la tâche de suivi de véhicule ($p < 0,05$). Avec une faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L), les conducteurs allongent leur DIV maximum en double tâche, uniquement lors des séquences complexes de la tâche de suivi de véhicule.

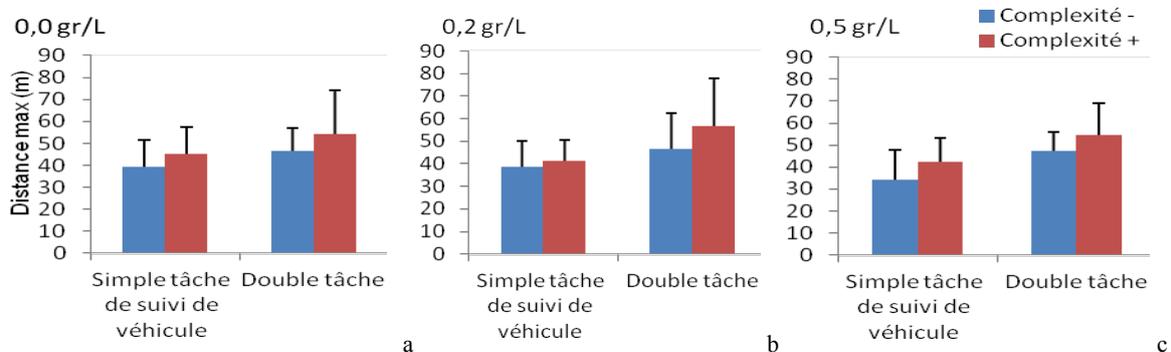


Figure 62. DIV maximum en fonction de la tâche et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule a. en condition placebo ; b. faible dose d'alcool ; c. forte dose d'alcool.

5.4.3.6.3. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de la localisation de présentation de l'information ?

- Interaction significative entre le BAC et la localisation de présentation des nombres sur :

- *le pourcentage de réponses correctes* ($F(2, 60) = 21,75, p < 0,05$) (voir fig. 63).

Le conducteur a un pourcentage de réponses correctes inférieur lorsque le nombre est présenté en périphérie (droite et gauche) que lorsqu'il est présenté au centre ($p < 0,05$). De plus, ils mettent également plus de temps lorsque le nombre est présenté en périphérie droite plutôt qu'en périphérie gauche, et ceci dans l'ensemble des conditions du BAC ($p < 0,05$).

Quand le nombre est présenté en périphérie (droite et gauche), le pourcentage de réponses correctes est inférieur pour un conducteur sous l'influence d'une forte dose d'alcool (BAC de 0.5gr/L) en comparaison à la condition placebo (BAC de 0.0gr/L) ($p < 0,05$). Aucune différence significative en ce qui concerne le pourcentage de réponses correctes n'est trouvé quand le nombre est présenté au centre de la scène visuelle ($p > 0,05$).

De plus, quand le nombre apparaît en périphérie droite, les conducteurs ont un pourcentage de réponses correctes plus faible avec une forte dose d'alcool (BAC de 0.5gr/L) qu'avec une faible dose d'alcool (BAC de 0.2gr/L) ($p < 0,05$).

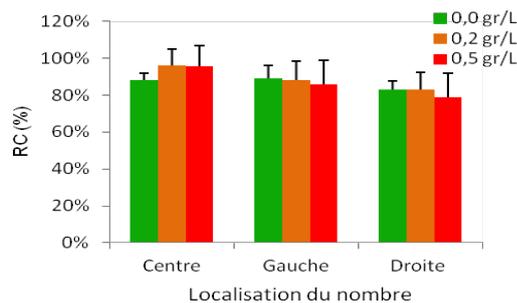


Figure 63. Pourcentage de réponses correctes en fonction du BAC et de la localisation de présentation de l'information.

5.4.3.6.3.1. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de la tâche et de la localisation de présentation de l'information ?

L'analyse des données recueillies ne met pas en évidence d'interaction significative entre l'alcool, la tâche et la localisation de présentation de l'information.

5.4.3.6.4. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de l'expérience du conducteur ?

- Interaction significative entre le BAC et l'expérience du conducteur sur :

- *l'indice de variation de distance* ($F(2, 60) = 3,64, p < 0,05$) (voir fig. 64).

Les résultats indiquent une réduction de l'indice de variation de distance sous effet de l'alcool (BAC de 0,2 gr/L et BAC de 0,5 gr/L) par rapport à la condition placebo (BAC de 0,0 gr/L), uniquement pour les conducteurs expérimentés ($p < 0,05$).

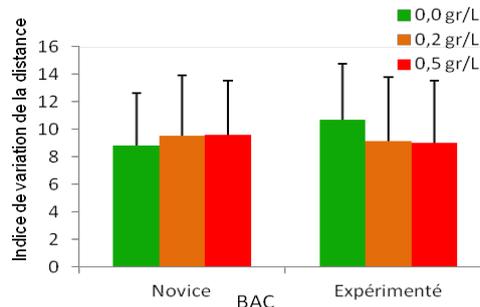


Figure 64. Indice de variation de distance en fonction du BAC et de l'expérience de conduite.

5.4.3.6.4.1. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de l'expérience du conducteur et de la tâche ?

- Interaction significative entre le BAC, l'expérience de conduite et la tâche sur :

- *le nombre d'appuis sur la pédale de frein* ($F(2, 58) = 6,26, p < 0,05$) (voir fig. 65).

Avec la dose la plus forte d'alcool (BAC de 0.5gr/L), les conducteurs novices et expérimentés se différencient sur le nombre d'appuis sur la pédale de frein en fonction de la tâche. Autrement dit, avec un BAC de 0.5gr/L, les novices appuient plus souvent sur la pédale de frein en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$). Le résultat inverse est trouvé pour les conducteurs expérimentés ($p < 0,05$). De plus, lorsque les conducteurs sont placés en double tâche sous l'influence de la plus forte dose d'alcool (BAC de 0.5gr/L), les novices appuient plus souvent sur la pédale de frein que les expérimentés ($p < 0,05$).

Par ailleurs, sous l'effet de l'alcool, les conducteurs expérimentés modifient leurs comportements de freinage, de manière différente en fonction de la tâche. En effet, en tâche simple de suivi de véhicule, ils appuient plus souvent sur la pédale de frein avec un BAC de 0.5gr/L qu'avec un BAC de 0.2gr/L ($p < 0,05$) et qu'avec un placebo (BAC de 0.0gr/L) ($p < 0,05$). Les résultats inverses se retrouvent en double tâche : les conducteurs expérimentés appuient moins souvent sur la pédale de frein avec un BAC de 0.5gr/L qu'avec un BAC de 0.0gr/L ($p < 0,05$). Enfin, dans la condition placebo (BAC de 0.0gr/L), les conducteurs expérimentés sont sensibles à un effet de la tâche : ils appuient plus souvent sur la pédale de frein en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$).

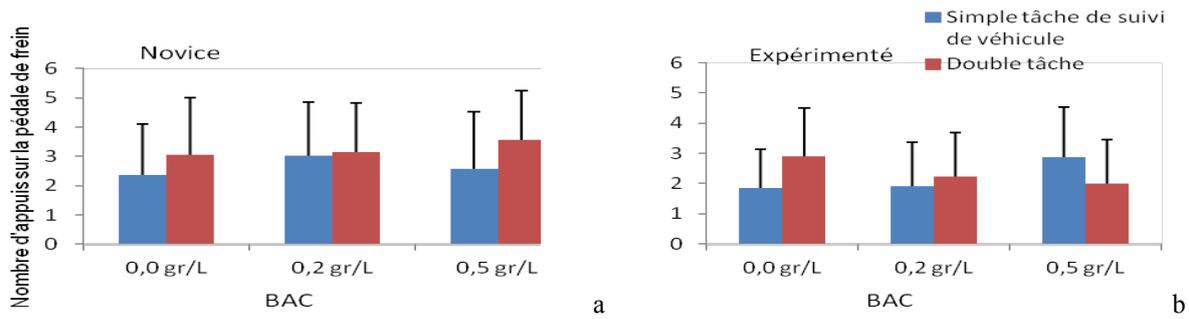


Figure 65. Nombre d'appuis sur la pédale de frein en fonction de la tâche et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- Interactions tendancielle entre le BAC, l'expérience de conduite et la tâche sur :

- *l'amplitude maximum des sorties de voies* ($F(2, 60) = 2,56, p = 0,08$) (voir fig. 66).

Seuls les conducteurs novices sous l'effet d'une faible dose d'alcool (BAC de 0.2 gr/L) ont tendance à se situer plus à gauche de la voie en tâche simple de suivi de véhicule qu'en double tâche ($p < 0,05$).

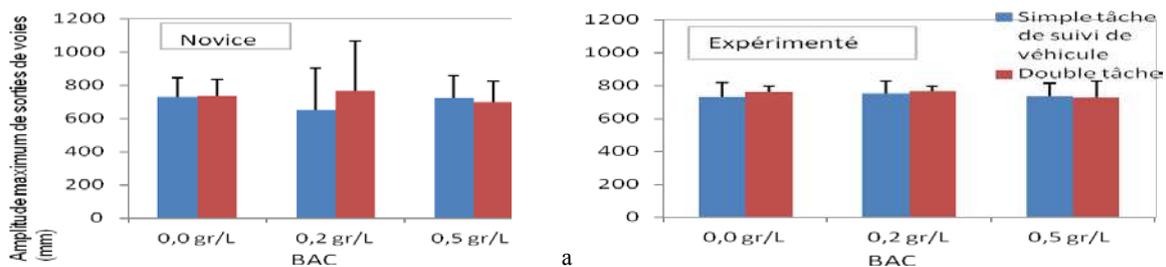


Figure 66. Amplitude maximum des sorties de voies en fonction du BAC et de la tâche : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- *la DIV maximum* adoptée par le conducteur ($F(2, 58) = 2,83, p = 0,067$) (voir fig. 67).

Les conducteurs novices, alcoolisés ou non, ont tendance à adopter une DIV maximum plus longue en double tâche qu'en tâche simple de suivi de véhicule ($p < 0,05$) alors que des résultats similaires se retrouvent pour les conducteurs expérimentés, uniquement lorsqu'ils sont alcoolisés ($p < 0,05$).

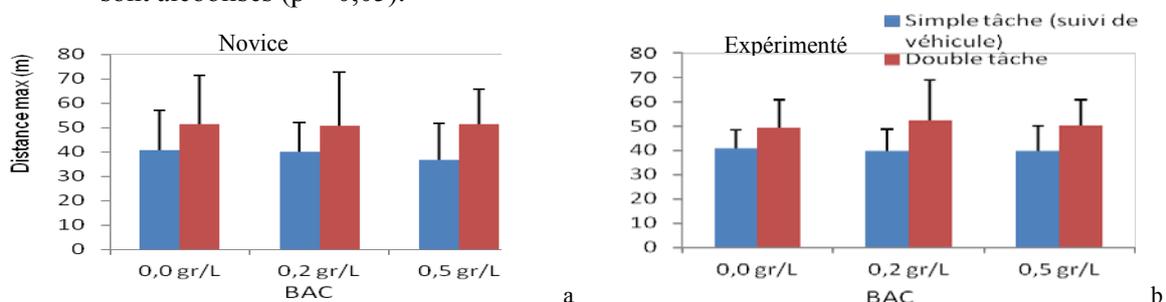


Figure 67. DIV maximum adopté en fonction du BAC et de la tâche : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- *le pourcentage d'erreurs* ($F(2, 60) = 2,35, p = 0,10$) (voir fig. 68).

Lorsque les conducteurs novices sont placés en situation de double tâche, ils ont tendance à faire plus d'erreurs de jugement de parité avec un BAC de 0.5gr/L qu'avec un BAC de 0.2gr/L ($p < 0,05$).

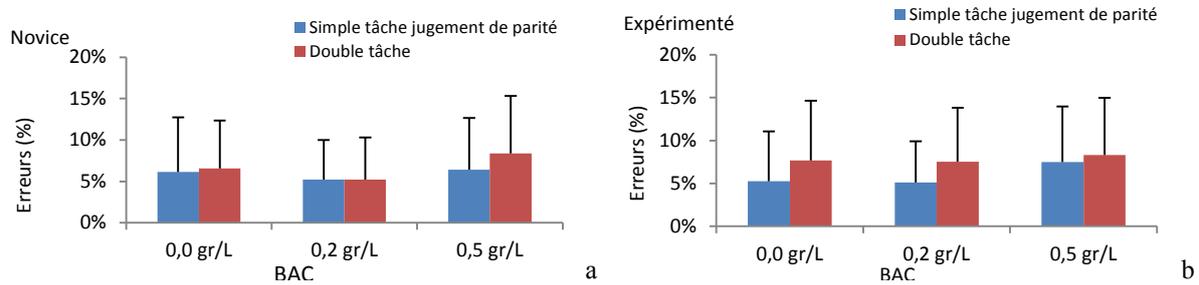


Figure 68. Pourcentage d'erreurs en fonction de la tâche et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- le pourcentage d'omission ($F(2, 60) = 2,83, p = 0,067$) (voir fig. 69).

Avec un BAC de 0.2gr/L, les conducteurs novices ont un pourcentage d'omissions supérieur en double tâche qu'en tâche simple de jugement de parité de nombre ($p < 0,05$).

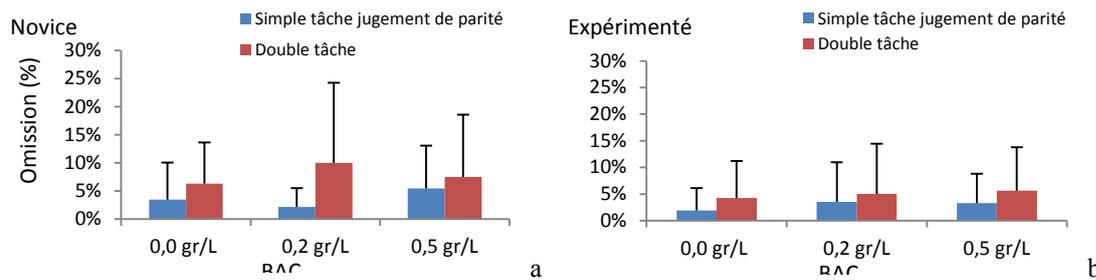


Figure 69. Pourcentage d'omissions en fonction de la tâche et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

5.4.3.6.4.1. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de l'expérience du conducteur et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule ?

- Interactions significatives entre le BAC, l'expérience de conduite et la complexité des séquences sur :

- le temps de régulation de distance ($F(2, 58) = 4,29, p < 0,05$) (voir fig. 70).

Lors des séquences peu complexes, les conducteurs novices mettent plus de temps pour atteindre la distance de référence lorsqu'ils sont alcoolisés (BAC de 0,5 gr/L et BAC de 0,2 gr/L) que lorsqu'ils ne le sont pas (BAC de 0,0 gr/L) ($p < 0,05$). Ils sont sensibles à un effet de la complexité de la tâche, uniquement dans la condition forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L) : ils mettent plus de temps à atteindre la distance de référence avec le véhicule lors des séquences peu complexes comparativement aux séquences complexes ($p < 0,05$). En revanche, le temps mis par les conducteurs expérimentés pour atteindre la distance de

référence avec le véhicule lièvre ne semble pas influencé ni par l'alcool, ni par la tâche, ni par la complexité de la tâche de suivi de véhicule ($p > 0,05$).

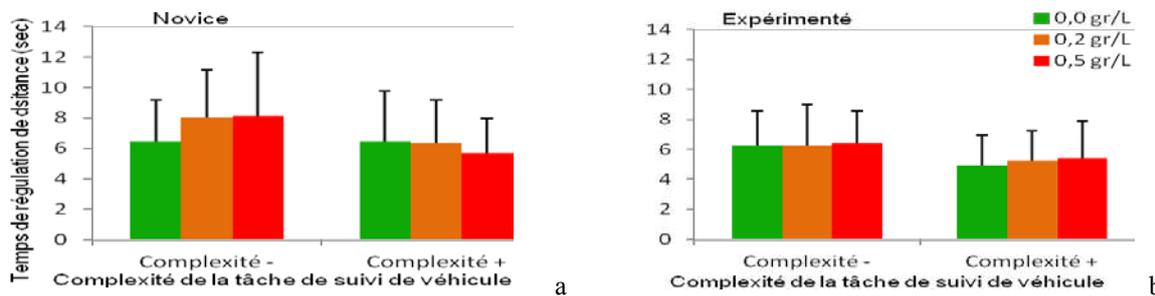


Figure 70. Temps de régulation de distance en fonction du BAC et de la complexité de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- la *DIV maximum* adoptée par le conducteur ($F(2, 58)=6,95, p < 0,05$) (voir fig. 71).

Seules les *DIV maximum* adoptées par les conducteurs novices dans la condition placebo (BAC de 0,0 gr/L) et forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L) et par les conducteurs expérimentés dans la condition faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L) sont sensibles à la complexité de la tâche. En effet, dans ces conditions, les conducteurs allongent leur *DIV* lors des séquences complexes ($p < 0,05$).

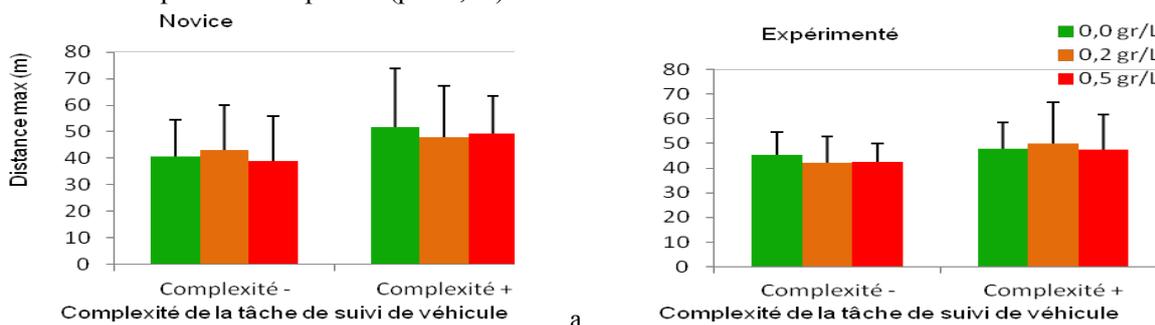


Figure 71. *DIV maximum* adoptée en fonction du BAC et de la complexité de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- Interactions tendancielle entre le BAC, l'expérience de conduite et la complexité des séquences

SUR :

- les *SDLP* ($F(2, 60) = 2,74, p = 0,072$) (voir fig. 72).

Lors des séquences peu complexes, les conducteurs novices ont tendance à avoir des *SDLP* supérieurs avec un BAC de 0,5 gr/L qu'avec un BAC de 0,0 gr/L ($p < 0,05$). De plus, lors des séquences complexes, les conducteurs novices ont des *SDLP* supérieurs avec un BAC de 0,2 gr/L qu'avec un BAC de 0,5 gr/L ($p < 0,05$). En revanche, les conducteurs expérimentés ont des *SDLP* supérieurs avec un BAC de 0,5 gr/L qu'avec un BAC de 0,2 gr/L et qu'avec un BAC de 0,0 gr/L, et ceci quelle que soit la complexité de la tâche principale ($p < 0,05$).

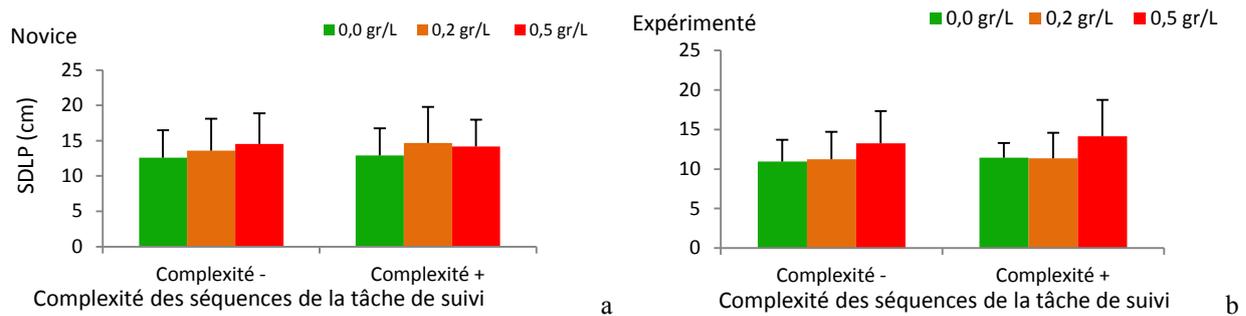


Figure 72. Déviation standard de la position latérale (SDLP) en fonction de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule et du BAC : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

- l'indice de variation de vitesse ($F(2, 60) = 2,62, p = 0,08$) (voir fig. 73).

Lors des séquences peu complexes de la tâche de suivi de véhicule, les conducteurs expérimentés ont tendance à avoir plus de difficulté pour réguler leur vitesse (augmentation de l'indice de variation de vitesse) avec un BAC de 0.2 gr/L comparé à la condition placebo ($p < 0,05$).

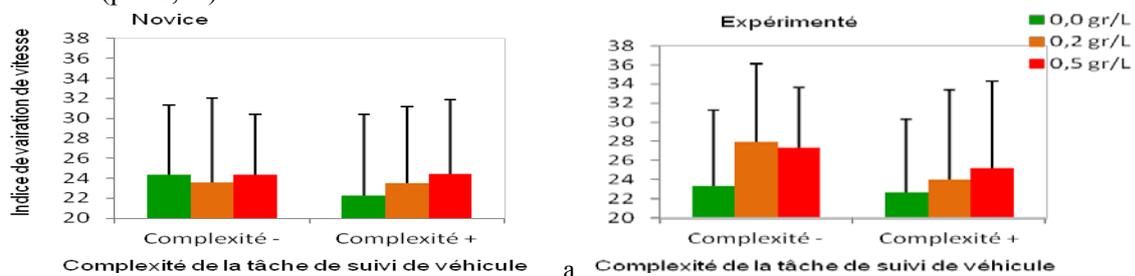


Figure 73. Indice de variation de vitesse en fonction du BAC et de la complexité des séquences de la tâche de suivi de véhicule : a. pour les conducteurs novices ; b. pour les conducteurs expérimentés.

4.3.2.2. Les effets de l'alcool varient-ils en fonction de l'expérience et de la localisation de présentation du nombre ?

L'analyse des données recueillies ne met en évidence aucune interaction significative entre l'expérience du conducteur, le BAC et la localisation de présentation du nombre.

5. Auto-évaluations :

Les auto-évaluations de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction de la tâche sont présentées dans le tableau 22.

Tableau 22. Auto-évaluation de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction de la tâche (Ecart-type entre parenthèse).

	Tâche simple de suivi de véhicule	Tâche simple de jugement de parité de nombre	Double tâche	F
Performance	5,9 (1,5)	6,8 (1,8)	5,1 (1,8)	F (2, 60)=29,31, p < 0,05
Difficulté	4,9 (2,1)	4,4 (2,3)	7 (1,5)	F (2, 60)=46,09, p < 0,05

Les conducteurs s'auto-évaluent comme étant plus performants en tâche simple de jugement de parité ou de suivi de véhicule) qu'en double tâche (p < 0,05). Ils s'auto-évaluent également comme étant plus performants en tâche simple de jugement de parité qu'en tâche simple de suivi de véhicule (p < 0,05). Ces résultats sont concordants avec le fait que les conducteurs évaluent la double tâche comme étant plus difficile que les tâches simples (p < 0,05). Aucune différence significative n'est notée entre les deux tâches simples (p > 0,05).

Les auto-évaluations de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction du BAC sont présentées dans le tableau 23.

Tableau 23. Auto-évaluation de la performance du conducteur et de la difficulté de la tâche en fonction du BAC (Ecart-type entre parenthèse).

	0,0 gr/L	0,2 gr/L	0,5 gr/L	F
Performance	6,5 (1,6)	5,9 (1,9)	5,5 (1,9)	F (2, 60)=11,02, p < 0,05
Difficulté	5 (2,3)	5,5 (2,3)	5,8 (2,1)	F (2, 60)=5,64, p < 0,05

De manière générale, indépendamment de la tâche, les conducteurs s'auto-évaluent comme plus performants dans la condition placebo que lorsqu'ils sont alcoolisés, et ceci même avec une faible dose d'alcool (p < 0,05). Les conducteurs évaluent également la tâche comme étant plus difficile lorsqu'ils sont sous l'emprise de la forte dose d'alcool (BAC de 0,5gr/L) comparativement à la condition placebo (BAC de 0,0 gr/L) (p < 0,05).

6. Récapitulatif des résultats

Effet de la double tâche :

- Dégradation des performances de conduite :
 - Difficulté de régulation de vitesse
 - Augmentation du temps de régulation de vitesse pour les novices indépendamment de la complexité de la séquence
 - Augmentation du temps de régulation de vitesse pour les expérimentés lors des séquences complexes de la tâche de suivi.
 - Augmentation du nombre d'appuis sur la pédale de frein pour les conducteurs expérimentés en condition placebo.
 - Difficulté de régulation de distance
 - Augmentation de la variabilité de la DIV.
 - Augmentation de la DIV moyenne lors des séquences peu complexes.
 - Augmentation de la DIV max pour les conducteurs novices, alcoolisés ou non.
 - Augmentation de la DIV max pour les conducteurs expérimentés, uniquement sous alcool.
 - Difficulté de gestion de la position du véhicule sur la voie

- Augmentation des SDLP
- Dégradation des performances à la tâche secondaire :
 - Allongement du TR en périphérie
 - Réduction du pourcentage de réponses correctes en périphérie
 - Augmentation du pourcentage d'omissions en périphérie
 - Augmentation du pourcentage d'erreurs en périphérie droite pour les expérimentés
- Auto-évaluations :
 - Performance : ST jugement de parité > ST suivi de véhicule > DT
 - Difficulté : DT > ST jugement de parité
DT > ST suivi véhicule
ST jugement de parité = ST suivi véhicule

Effet des séquences complexes :

- Dégradation des performances de conduite :
 - Difficultés de régulation de vitesse
 - Augmentation de la vitesse max
 - Augmentation du temps de décélération
 - Augmentation du nombre d'appuis sur la pédale de frein
 - Augmentation du temps de régulation de vitesse en DT.
 - Difficultés de régulation de distance
 - Réduction de la DIV moyenne et minimum et Augmentation de la variabilité de la DIV moyenne.
 - Augmentation de l'indice de variation de distance en DT.
 - Réduction du temps de régulation de distance pour les novices
 - Augmentation de la DIV max pour les novices en condition placebo et forte dose d'alcool.
 - Augmentation de la DIV max pour les expérimentés en condition faible dose d'alcool.
 - Difficultés de gestion de la position du véhicule sur la voie
 - Augmentation des SDLP

Effet de la présentation de l'information en périphérie de la scène :

- Dégradation des performances à la tâche secondaire
 - Augmentation du temps de réponse
 - Pour les expérimentés : TR droit > TR gauche > TR centre
 - Pour les novices : TR droit = TR gauche > TR centre
 - Réduction du pourcentage de réponse correcte
 - RC droit < RC gauche < RC centre
 - Augmentation du pourcentage d'erreurs
 - E droit > E gauche > E centre
 - Augmentation du pourcentage d'omissions
 - O droit > O gauche > O centre

Effet de l'expérience de conduite

- Dégradation des performances de conduite des conducteurs novices :
 - Difficulté de gestion de la position du véhicule sur la voie
 - Augmentation des SDLP
 - Difficulté de régulation de vitesse :
 - Augmentation du nombre d'appuis sur le frein en DT sous l'influence d'une forte dose d'alcool.
 - Difficulté de régulation de distance :
 - Augmentation du temps de régulation de distance en ST.
- Dégradation de la performance en tâche secondaire des conducteurs novices :
 - Augmentation du TR.

Effet de l'alcool

Pour la forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L) :

- Dégradations des performances de conduite :
 - Difficulté de gestion de la position du véhicule sur la voie
 - Augmentation des SDLP, accentuée en DT.
 - Difficultés de régulation de vitesse
 - Augmentation de la vitesse min
 - Augmentation de l'indice de variation de vitesse
 - Augmentation du temps de régulation de vitesse
 - Augmentation du temps de freinage en DT
 - Augmentation du nombre d'appuis sur le frein pour les novices en DT.
 - Difficultés de régulation de distance :
 - Réduction de la DIV
 - Réduction de la DIV min lors des séquences complexes
 - Augmentation du temps de régulation de distance lors des séquences peu complexes.
- Dégradation des performances à la tâche secondaire :
 - Augmentation du pourcentage d'erreurs
 - Réduction du pourcentage de réponses correctes en périphérie.

Pour la faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L) :

- Dégradations des performances de conduite :
 - Difficultés de gestion de la position du véhicule sur la voie en ST
 - Augmentation de l'amplitude max des sorties de voies lors d'une tâche fortement complexe
 - Augmentation de l'amplitude max des sorties de voies pour les novices
 - Difficultés de régulation de distance en ST
 - Réduction de la DIV
 - Réduction de la DIV min lors d'une séquence peu complexe.
 - Augmentation du temps de régulation de distance lors d'une séquence peu complexe pour les novices.
 - Difficulté de régulation de vitesse
 - Augmentation de l'indice de variation de vitesse lors d'une tâche peu complexe pour les expérimentés.
- Auto-évaluations :
 - Performance: Perf 0,0 gr/L > Perf 0,2 gr/L > Perf 0,5 gr/L
 - Difficulté : Diff 0,0 gr/L < Diff 0,5 gr/L
Diff 0,0 gr/L = Diff 0,2 gr/L

5.5. Discussion

L'intérêt de cette expérience réside dans l'étude de l'impact de faible et forte dose d'alcool sur le comportement des jeunes conducteurs, novices et expérimentés lors d'une situation d'attention divisée. Comme dans l'expérience précédente, nous prédisions une dégradation des performances lors de la réalisation d'une double tâche comparativement aux tâches simples, ainsi que des performances de conduite moindres pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés. Dans la mesure où les effets de l'alcool sont particulièrement néfastes lors d'une

tâche complexe (Ogden et Moskowitz, 2004 ; Schnabel *et al*, 2010), la dégradation des performances du conducteur devrait être plus marquée en double tâche qu'en simple tâche. Nous supposons aussi que l'impact négatif de l'alcool sur les performances de conduite serait plus grand pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés, et ceci dès de faibles doses d'alcool. Afin de tester nos hypothèses, nous avons comparé les performances de jeunes conducteurs, novices et expérimentés, en double tâche et en simple tâche, après avoir consommé soit une forte dose d'alcool, soit une faible dose d'alcool soit un placebo.

Double tâche & Interférence

Comme dans l'expérience précédente, **l'analyse de nos résultats met en évidence une dégradation des performances de conduite en double tâche ainsi qu'une dégradation des performances à la tâche secondaire.**

Performances de conduite

En double tâche, les conducteurs présentent des difficultés pour maintenir une position latérale stable sur la voie comparativement à la tâche simple de suivi de véhicule. Ce résultat réplique ceux obtenus dans de précédentes recherches qui démontrent une augmentation de la déviation standard de la position latérale du véhicule lors de la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite (Blanco *et al*, 2006 ; Hosking *et al*, 2009 ; Mc Keever *et al*, 2013), mais il va à l'encontre des résultats de l'expérience précédente pour laquelle la dégradation de cette variable se retrouve en tâche simple de suivi de véhicule. Ces différences s'expliquent à la fois par la méthodologie employée et les méthodes statistiques utilisées. En effet, dans l'expérience précédente, une seule session expérimentale était réalisée. Par conséquent nous avons réalisé une ANOVA à mesure répétée comparant les performances obtenues en double tâche à celles obtenues en tâche simple. Or dans l'expérience 3, les conducteurs participent à 3 sessions expérimentales dont deux sont réalisées sous l'influence d'alcool. Dans chacune de ces sessions expérimentales, le conducteur réalise les deux simples tâches, puis la double tâche. Une ANOVA à mesures répétées a donc été réalisée pour intégrer la totalité des données et tester les différences inter et intra-individuelles. La mesure de déviation standard de position latérale (SDLP) est une mesure extrêmement sensible aux effets néfastes de l'alcool (Berthelon et Gineyt, 2013 ; Helland *et al*, 2013), il se peut donc que le moyennage des différentes sessions expérimentales ait abouti à un effet de la double tâche. D'ailleurs, la réalisation d'analyses supplémentaires a permis de mettre en évidence que cette

augmentation des SDLP en double tâche n'est significative que dans la condition forte dose d'alcool (BAC de 0,5gr/L) ($F(1, 30)=13,16, p < 0,05$).

L'impact de la double tâche sur les performances des conducteurs novices et expérimentés est modulé par la complexité des séquences ou par le niveau de BAC. Les conducteurs novices mettent plus de temps à réguler leur vitesse en double tâche, indépendamment de la complexité de la séquence. En revanche, pour les expérimentés, cette augmentation du temps de régulation de vitesse se retrouve uniquement lors des séquences complexes. De plus, les expérimentés appuient plus fréquemment sur la pédale de frein qu'en simple tâche de suivi de véhicule (en condition placebo). Des difficultés de régulation de vitesse similaires sont retrouvées dans de précédentes études sur l'impact du téléphone mobile au volant (Strayer *et al*, 2003 ; Strayer *et al*, 2006). Par ailleurs, ces résultats sont en accord avec les précédentes recherches montrant d'une part une augmentation de la quantité de ressources mobilisées lors de la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite (Stinchcombe *et al*, 2011) et d'autre part, l'existence d'une corrélation positive entre la dégradation des performances de régulation de vitesse des expérimentés lors de la réalisation d'une tâche secondaire et la complexité de la tâche principale de conduite (Andersen *et al*, 2011 ; Bian *et al*, 2010 ; Horberry *et al*, 2006). Dans notre expérience, en double tâche, les conducteurs présentent des difficultés de régulation de distance (augmentation de la variabilité de la DIV) comparativement à la tâche simple de suivi de véhicule. De plus, un allongement des DIV en double tâche est noté dans l'ensemble des sessions expérimentales pour les novices, alors que ce résultat ne se retrouve que sous l'influence de l'alcool pour les expérimentés.

Performances à la tâche de jugement de parité de nombre.

L'activité de conduite prend place dans un environnement visuel complexe et implique l'utilisation simultanée de la vision centrale et périphérique pour répondre aux différentes sous tâches motrices, perceptives et cognitives. Dans notre expérience, les nombres étaient présentés soit au centre de la scène visuelle, soit en périphérie (droite et gauche). Nous avons comparé les performances de jugement de parité du conducteur en simple et double tâche en fonction de la localisation de présentation du nombre. Nous faisons l'hypothèse d'une dégradation des performances de jugement de parité en périphérie de la scène visuelle se traduisant par un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information ainsi qu'une diminution de l'exactitude de la réponse.

Nos résultats valident totalement notre hypothèse puisque **lorsque le nombre est présenté en périphérie, les conducteurs font moins de réponses correctes ainsi que plus d'erreurs et**

d’omissions que lorsqu’il apparaît au centre. Ils font également moins de réponses correctes, plus d’erreurs et plus d’omissions lorsque le nombre est présenté en périphérie droite que lorsqu’il est présenté en périphérie gauche de la scène. De plus, **lorsque le nombre est présenté en périphérie, une dégradation de l’exactitude du traitement de l’information est mise en évidence en double tâche** : les conducteurs font moins de réponses correctes et plus d’omissions. En revanche, le pourcentage d’erreurs en double tâche augmente seulement pour les conducteurs expérimentés (en périphérie droite du champ visuel). La dégradation de l’exactitude du traitement de l’information en double tâche est donc spécifique aux informations situées en périphérie. Ces résultats concordent avec les précédentes recherches qui montrent une réduction de l’étendue de l’attention spatiale lors de la réalisation d’une tâche secondaire à la conduite (Andersen *et al*, 2011 ; Bian *et al*, 2010) ainsi qu’une focalisation du regard au centre de la scène au détriment des éléments situés en périphérie (Chapman et Underwood, 1998 ; Crundall et Underwood, 1998 ; Pradhan *et al*, 2005).

Par ailleurs, **la vitesse de traitement des informations situées en périphérie dépend de l’expérience du conducteur.** Les conducteurs expérimentés sont plus rapides pour identifier un nombre présenté en périphérie gauche qu’en périphérie droite. De plus, c’est uniquement quand le nombre est présenté en périphérie droite qu’ils ont un pourcentage d’erreurs supérieur en double tâche qu’en simple tâche de jugement de parité de nombre. Les conducteurs expérimentés effectuent donc un traitement différentiel entre les deux côtés de la périphérie et semblent privilégier le côté gauche au côté droit. Nous n’avions pas d’hypothèse *a priori* sur le traitement préférentiel d’un côté de la périphérie mais ces résultats peuvent notamment prendre sens dans le cadre de l’activité de conduite automobile puisque le conducteur est situé dans un environnement latéralisé : il est placé sur le côté gauche du véhicule, une grande partie des informations dynamiques comme les autres véhicules proviennent du côté gauche, les panneaux de signalisation sont placés sur la droite. Avec l’expérience, l’exposition du conducteur à cet environnement latéralisé augmente et le conducteur est alors susceptible de développer des stratégies de recherche visuelle différenciée entre les deux côtés de la périphérie. Cette interprétation concorde avec un déplacement du point modal (point de fixation privilégié par le conducteur) sur la gauche de la scène lorsque le conducteur devient familier avec l’environnement de conduite (Owsley et McGwin, 2010).

Oui mais, en tâche simple de suivi de véhicule....

La diversité des mesures du comportement de conduite recueillies aboutit à nouveau à des résultats surprenants puisque les conducteurs présentent des difficultés de régulation de distance

(augmentation du temps de régulation de distance) et de vitesse (augmentation du temps mis pour lâcher la pédale d'accélérateur et de l'indice de variation de vitesse) en tâche simple de suivi de véhicule. La position latérale moyenne de leur véhicule sur la voie dévie également vers la gauche. Ce résultat va à l'encontre des résultats habituels qui indiquent un positionnement privilégié du conducteur sur la droite de la voie (Damn *et al*, 2011 ; Dijksterhuis *et al*, 2011). Contrairement aux autres recherches où le conducteur est sur une route à deux voies avec trafic en sens inverse, dans notre expérience, le conducteur est placé au milieu d'une route à trois voies, de sorte qu'il se situe au centre de la scène visuelle. De plus, il n'y a pas de trafic arrivant en sens inverse. Le design expérimental de la scène visuelle utilisé ici est susceptible de favoriser les tentatives de dépassement de la part du conducteur et expliquer alors cette différence de position.

Ensuite, un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information est mis en évidence en tâche simple de jugement de parité de nombres comparativement à la double tâche. Ce résultat traduit surtout le fait qu'en double tâche, les conducteurs privilégient la vitesse de traitement de l'information au détriment de l'exactitude. De plus, les réponses à la tâche de jugement de parité de nombre sont données à l'aide des commandes du véhicule proches du volant (essuie glace et appel de phare) et nous avons remarqué que la position des mains du sujet dans l'espace était différente en fonction de la tâche. En tâche simple, les mains du conducteur étaient en mouvement dans l'espace alors que lors de la double-tâche, les mains étaient positionnées en permanence sur le volant ce qui favorise la rapidité d'exécution de la réponse motrice. La position des mains dans l'espace semble donc être un indicateur pertinent des exigences de la tâche et devrait donc être pris en compte dans les futures recherches.

Complexité des séquences de la tâche suivi de véhicule

Comme dans l'expérience 2, nous avons comparé les performances du conducteur lors des séquences complexes de la tâche de suivi (freinages de forte amplitude du véhicule lièvre) aux séquences peu complexes (freinages de faible amplitude du véhicule lièvre). Nous prédisions une dégradation des performances lorsque la complexité des séquences de la tâche augmente.

Nos résultats valident notre hypothèse puisque lors des séquences complexes, les conducteurs présentent des difficultés dans l'ensemble des sphères de la dynamique du véhicule (vitesse, position, distance). Les conducteurs mettent plus de temps à réguler leur vitesse et modifient leurs

stratégies de freinage : ils mettent plus longtemps à lâcher la pédale d'accélérateur et appuient plus souvent sur la pédale de frein. Des difficultés de gestion de vitesse similaires ont été mises en évidence lors de freinage brusque du véhicule lièvre (Andersen *et al*, 2011 ; Bian *et al*, 2010). Lors des séquences complexes, les conducteurs présentent aussi des difficultés de régulation de distance clairement prononcées, puisque la variabilité de la DIV est multipliée par 2 comparativement aux séquences peu complexes. Ils présentent également un indice de variation de distance plus élevé lors des séquences complexes que lors des séquences peu complexes. Enfin, ils réduisent leurs DIV lors des séquences complexes et présentent des difficultés pour maintenir une position stable du véhicule sur la voie (augmentation des SDLP). Ces résultats sont en accord avec les précédentes recherches mettant en évidence des difficultés pour contrôler la trajectoire et la vitesse du véhicule lors d'un freinage brusque du véhicule lièvre (Bian *et al*, *ibid.*).

Nous avons donc mis en évidence des comportements différents en fonction de la source d'augmentation de la difficulté de la tâche : lorsque les exigences intrinsèques de la tâche augmentent (séquences complexes), les conducteurs ont tendance à coller au véhicule devant eux, alors qu'à l'inverse lorsqu'ils doivent réaliser une tâche secondaire à la conduite (condition de double tâche), ils allongent leur DIV. Toutefois, que la complexité de la tâche soit invoquée à travers la manipulation de l'environnement visuel (Horberry *et al*, 2006), les variations du véhicule lièvre dans une tâche de suivi (Andersen *et al*, *ibid.* ; Bian *et al*, *ibid.*), ou encore les exigences de pilotage (Paxion *et al*, 2014), toutes les recherches s'accordent sur une dégradation des performances de conduite quand la complexité de la tâche augmente.

En double tâche, la dégradation des performances précédemment évoquée lors des séquences complexes est exacerbée. L'augmentation du temps de régulation de vitesse et la réduction des DIV sont plus élevées qu'en tâche simple de suivi de véhicule. De plus, toujours lors des séquences complexes, les conducteurs présentent des difficultés de régulations spécifiques à la double tâche se traduisant par une augmentation de l'indice de variation de distance, autrement dit des difficultés à maintenir une trajectoire longitudinale stable. Il apparaît ainsi que plus les exigences de la tâche sont élevées, plus la quantité de ressources à mobiliser pour mener à bien la tâche est importante. Lors des séquences complexes, le conducteur est soumis à une pression temporelle relativement forte puisqu'il doit réagir rapidement à un freinage de forte amplitude. S'il doit réaliser une tâche secondaire dans ces conditions, alors des dégradations spécifiques des performances sont mises en évidence, comme si au fur et à mesure que les exigences de la tâche augmentaient, la dégradation des performances du conducteur affectait de plus en plus de mesures de la dynamique du véhicule.

Ainsi, dans ces conditions, les exigences de la tâche excèdent la quantité de ressources disponibles du conducteur, ses performances chutent et son risque d'accident augmente (Fuller, 2005).

Des difficultés liées à la complexité intrinsèque de la tâche de suivi se retrouvent aussi en tâche simple : lors des séquences complexes, les conducteurs adoptent une vitesse plus élevée que lors des séquences peu complexes et présentent également une augmentation de la variabilité des DIV. Toutefois, ils sortent plus fréquemment de leur voie lors des séquences peu complexes de la tâche simple de suivi de véhicule que lors des séquences complexes. Les sorties de voies semblent favorisées par un contexte de faible complexité. Cette interprétation est renforcée par le fait que lors des séquences peu complexes, les conducteurs sortent plus fréquemment de leur voie en simple tâche qu'en double tâche, passant ainsi plus de temps sur une voie où des véhicules sont susceptibles d'arriver en face. Ces résultats confirment à nouveau que la tâche simple de suivi de véhicule doit être considérée comme une tâche à part entière.

Effet de l'expérience de conduite

Comme dans l'expérience précédente, nous faisons l'hypothèse de performances de conduite moindres pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés. Pour cela nous avons comparé les performances d'un groupe de jeunes conducteurs novices, ayant obtenu son permis depuis moins de deux mois à celles d'un groupe de jeunes conducteurs expérimentés avec environ 3 ans de permis. Les critères utilisés pour former ces deux groupes sont intéressants d'une part car les différences liées à l'âge sont réduites et d'autre part car cela permet d'étudier une période spécifique de la formation à la conduite : la période de permis probatoire. En effet, les jeunes conducteurs novices entament cette période alors que les conducteurs expérimentés sont sur le point de la terminer et d'obtenir leur permis à 12 points.

Les résultats confirment notre hypothèse puisque les conducteurs novices ont des difficultés à réguler la vitesse de leur véhicule (augmentation du nombre d'appuis sur la pédale de frein) comparativement aux conducteurs expérimentés. De plus, comme démontré dans l'expérience 2, les conducteurs novices ont ici des difficultés à maintenir une position stable sur la voie (augmentation des SDLP) comparativement aux conducteurs expérimentés, et ceci dans l'ensemble des conditions expérimentales. Les performances de contrôle de la trajectoire du véhicule des conducteurs novices sont donc clairement inférieures à celles des conducteurs expérimentés. Ceci est dû au fait que les sous tâches nécessaires au contrôle de la trajectoire et de la vitesse du véhicule mobilisent encore

beaucoup de ressources attentionnelles pour les conducteurs novices qui n'ont pas encore automatisé l'ensemble des sous-tâches motrices (Shinar, 2007 ; Shinar *et al*, 1998, 2005). Par ailleurs, les conducteurs novices mettent plus de temps pour juger de la parité d'un nombre que les conducteurs expérimentés. Si la tâche de suivi de véhicule mobilise une grande partie des ressources attentionnelles du conducteur novice, alors il met plus de temps qu'un conducteur expérimenté pour désengager son attention de la tâche principale vers la tâche secondaire.

La réalisation d'une tâche secondaire dégrade les performances de régulation des novices de manière plus marquée que celle des expérimentés puisqu'eux seuls présentent une augmentation de l'indice de variation de distance en double tâche. Par ailleurs, en double tâche, les conducteurs novices tendent à adopter une vitesse plus élevée que les conducteurs expérimentés. Enfin, les difficultés de régulation de vitesse (augmentation du temps de régulation de vitesse) en double tâche, se retrouvent indépendamment de la complexité des séquences pour les conducteurs novices. En revanche, pour les conducteurs expérimentés, ces difficultés ne se retrouvent que lors des séquences complexes de la tâche de suivi. Autrement dit, contrairement aux conducteurs novices, la dégradation des capacités de régulation de vitesse des expérimentés liée à la double tâche est fonction de la complexité de la tâche principale.

Enfin, les conducteurs novices sont également plus sensibles que les expérimentés à la complexité intrinsèque de la tâche de suivi de véhicule. La dégradation des performances de régulation de vitesse (augmentation du temps de régulation de vitesse) lors des séquences complexes est plus élevée pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés. De plus, la dégradation des performances de régulation de distance (augmentation du temps de régulation de distance) lors des séquences complexes ne concerne que les conducteurs novices. Notons que dans notre expérience, les feux arrière du véhicule lièvre ne s'allument pas pendant les freinages. Pour détecter ce freinage, le conducteur doit donc prendre en compte le marquage au sol qui le sépare du véhicule lièvre ainsi que la taille du véhicule (grossissement à l'approche / réduction à l'éloignement). Il est donc possible que les conducteurs novices aient mis plus de temps à percevoir le freinage du véhicule lièvre, notamment lorsqu'il est de faible amplitude (séquences peu complexes) et aient par conséquent mis plus de temps à réagir. Cette interprétation repose en partie sur les recherches de Strayer *et al* (2001, 2003, 2007) qui montrent que les conducteurs échouent dans les tâches de détection de changement dans une scène visuelle.

En résumé, les performances des conducteurs novices sont plus sensibles que celles des expérimentés à la complexité intrinsèque de la tâche de conduite ainsi qu'à la distraction de leur attention par une tâche secondaire à la conduite.

Enfin, les performances des conducteurs sont également dégradées en tâche simple de suivi de véhicule mais seuls les novices ont des difficultés à réguler leur distance. Ce résultat peut être interprété comme les conséquences d'un retard dans la prise de décision. Les caractéristiques monotones de la tâche simple de suivi de véhicule sont susceptibles de faire chuter le niveau de vigilance du conducteur et de dégrader ses performances de conduite (Campagne *et al*, 2004 ; Larue *et al*, 2011). Cette interprétation semble valide dans la mesure où l'augmentation du temps de régulation de distance ne se retrouve ni en double tâche, ni pour les conducteurs expérimentés. Il est envisageable que ces derniers soient plus résistants à la monotonie d'une tâche de conduite et/ou capables de soutenir leur attention plus longtemps que les novices.

Effet de l'alcool

En nous basant sur les données épidémiologiques qui suggèrent une augmentation du risque d'accident dès l'ingestion de très faibles doses d'alcool, nous avons fait l'hypothèse d'une dégradation des performances de conduite proportionnelle à la dose d'alcool ingérée. Cette dégradation devrait être particulièrement prononcée dans les conditions où le conducteur est novice et en double tâche. Pour tester ces hypothèses, nous avons comparé les performances de conducteurs novices et expérimentés en condition placebo (BAC de 0,0 gr/L), faible dose d'alcool (BAC de 0,2 gr/L) et forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), en simple et double tâche.

L'analyse des résultats met en évidence une **dégradation générale des compétences du conducteur (position, vitesse, distance) sous l'influence d'une forte dose d'alcool**. Les conducteurs présentent des difficultés de régulation de vitesse (augmentation du temps mis pour appuyer sur la pédale de frein). Ce résultat est en accord avec les précédentes recherches qui montrent un impact délétère de l'alcool sur la capacité du conducteur à maintenir une vitesse stable (Helland *et al*, 2013 ; Leung *et al*, 2012 ; Ogden *et Moskowitz*, 2004). Toutefois, la majorité des recherches indique que les conducteurs adoptent une vitesse plus élevée sous l'influence de l'alcool (Ogden *et Moskowitz*, *ibid* ; Schabel *et al*, 2010). Or, dans notre expérience, une réduction de la vitesse adoptée par le conducteur est constatée sous l'influence d'une forte dose d'alcool. Il est

probable que le conducteur tente de compenser l'allongement de son temps de réaction au freinage par l'adoption de vitesse réduite.

Par ailleurs, sous l'influence d'une forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), les conducteurs réduisent leur DIV, se situent plus près du véhicule lièvre et ont des difficultés pour maintenir une position stable sur la voie (augmentation des SDLP). Cette dégradation des compétences de contrôle latéral du véhicule est exacerbée lorsque le conducteur doit réaliser une tâche secondaire à la conduite. En effet, en double tâche et sous l'influence d'une forte dose d'alcool, les conducteurs ont des SDLP supérieurs à l'ensemble des autres conditions expérimentales. Ce résultat est en accord avec les précédentes recherches qui indiquent que le SDLP est une mesure particulièrement sensible aux effets de l'alcool (Berthelon et Gineyt, 2013 ; Helland *et al*, 2013).

Par ailleurs, la question était posée de savoir si, comme le suggère la littérature sur l'effet tunnel, les effets néfastes de l'alcool perturbait le traitement des informations situées en périphérie en focalisant l'attention du conducteur au centre du champ visuel, ou bien si la dégradation des performances était aléatoire sur l'ensemble de la scène visuelle.

Les conducteurs font moins de réponses correctes et plus d'erreurs pour identifier la parité d'un nombre avec un BAC de 0,5 gr/L qu'en condition placebo. La dégradation du pourcentage de réponses correctes sous l'influence de l'alcool ne se retrouve qu'en périphérie. Ces résultats vont alors dans le sens d'une dégradation de l'exactitude du traitement de l'information située en périphérie et non d'une perturbation générale de la capacité du conducteur sur l'ensemble du champ visuel. Ceci est en accord avec les études montrant une focalisation des regards et une augmentation du temps de fixation au centre de la scène lorsque les exigences de la tâche augmentent et/ou sous l'influence de l'alcool (Mills *et al*, 2001 ; Underwood *et al*, 2002 ; Underwood, 2007 ; Wang *et al*, 2010). Toutefois, aucune différence significative n'a été mise en évidence en ce qui concerne le temps de réponse ce qui suggère que la vitesse de traitement de l'information n'est pas dégradée sous l'influence de l'alcool (faible et forte dose). Sous l'influence de l'alcool, les conducteurs privilégient la vitesse de traitement au détriment de la précision. L'impact différentiel de l'alcool sur la vitesse et la précision a d'ailleurs été démontré : l'alcool ne dégrade pas le temps de réaction mais bien la précision et l'exactitude de la réponse (Schweizer et Vogel-Sprott, 2008).

La majorité des recherches sur l'alcool étudie des concentrations de 0.3 à 0.9 gr/L. (Schnabel, 2010). Nos analyses n'ont pas permis de mettre en évidence de différence significative entre la

condition faible dose d'alcool et la condition placebo. Ceci s'explique notamment par la grande variabilité interindividuelle dans la sensibilité aux effets de l'alcool, et notamment à faibles doses. Toutefois, de nombreux effets d'interaction entre la condition de faible dose d'alcool, la tâche, sa complexité et le manque d'expérience de conduite suggèrent que de nombreuses pistes sont encore à explorer.

Ensuite, sous l'influence d'une faible dose d'alcool, les conducteurs novices ont des amplitudes de sorties de voie plus élevées en simple tâche de suivi qu'en double tâche. Les performances des conducteurs novices sont donc dégradées dès l'ingestion de faibles doses d'alcool. Toutefois contrairement à nos hypothèses, cette sensibilité s'exprime dans la tâche simple de suivi de véhicule et non en double tâche. L'impact des faibles doses d'alcool sur les performances des conducteurs novices semble donc plus prononcé dans des conditions monotones comme la tâche simple de suivi. Les faibles doses d'alcool seraient susceptibles de faire chuter le niveau de vigilance du conducteur, et ceci d'autant plus qu'il est en train de réaliser une tâche monotone.

Expérience de conduite & Alcool :

La dégradation des performances du conducteur lorsqu'il est sous l'influence de l'alcool est plus grande pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés, et ceci dès de faibles doses d'alcool.

Le temps de régulation de distance des conducteurs novices est influencé à la fois par le niveau de BAC et par la complexité intrinsèque de la tâche. Les conducteurs novices mettent plus de temps à réguler leur distance sous l'influence de l'alcool (faible et forte dose) comparativement à la condition placebo. De plus, sous l'influence d'une forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), ils mettent plus de temps à réguler leur distance lors des séquences peu complexes que lors des séquences complexes. Cette différence de temps de régulation en fonction de la complexité de la séquence et du niveau de BAC ne se retrouve pas pour les expérimentés, prouvant donc bien que les novices sont plus sensibles à la complexité intrinsèque de la tâche et à l'impact négatif de l'alcool que les conducteurs expérimentés.

Par ailleurs, les conducteurs novices allongent leur DIV en double tâche comparativement à la tâche simple de suivi dans l'ensemble des sessions expérimentales, y compris en condition placebo. En revanche, pour les expérimentés, cet allongement des DIV se retrouve uniquement lorsque le

conducteur est sous l'influence de l'alcool (faible et forte dose). Autrement dit, en condition placebo, la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite perturbe les performances de régulation de distance des novices, mais pas celles des expérimentés. En revanche, sous l'influence de l'alcool (faible et forte dose), l'ensemble des conducteurs allonge leur DIV. L'allongement des DIV est un moyen privilégié du conducteur pour réduire le coût cognitif lié à la tâche lorsque cette dernière devient trop complexe (Fuller, 2005) qui a été mis en évidence dans de nombreuses recherches (Bian *et al*, 2010 ; Horberry *et al*, 2006 ; Hosking *et al*, 2009 ; Jamson, Westerman, Hockey et Carsten, 2004 ; Strayer *et al*, 2003). Dans notre protocole, la tâche de suivi de véhicule implique des processus automatiques pour les expérimentés et des processus contrôlés pour les novices. En condition placebo, les conducteurs expérimentés sont donc capables, dans la limite de leur capacité cognitive, de réaliser une tâche secondaire à la conduite sans voir leurs performances diminuées. Pour les conducteurs expérimentés, le coût cognitif lié à la tâche secondaire n'augmente pas au point que les performances de régulation de distances soient perturbées. Toutefois, sous l'influence de l'alcool (BAC de 0,2 gr/L et BAC de 0,5 gr/L), les bénéfices liés à l'automatisation de la tâche principale de conduite sont perdus et l'ensemble des conducteurs (novices et expérimentés) augmentent leurs DIV.

Enfin, sous l'influence d'une forte dose d'alcool et en double tâche, il n'est pas étonnant que les performances de régulation de vitesse (nombre d'appuis sur la pédale de frein) des conducteurs novices soient largement inférieures à celles des expérimentés.

Contrairement aux conducteurs expérimentés, le pourcentage d'omissions des conducteurs novices augmente proportionnellement à la dose d'alcool ingéré. De plus, sous l'influence d'une faible dose d'alcool, les conducteurs novices commettent plus d'omissions en double tâche qu'en tâche simple de jugement de parité.

Notons que la moyenne du BAC pour les sessions expérimentales correspondantes à la forte dose d'alcool est de 0,49 gr/L. Nous pouvons donc considérer que l'ensemble de nos résultats s'intègre dans le cadre du niveau toléré par la législation lors de la conduite d'un véhicule. Or, une dégradation claire des performances de l'ensemble des conducteurs a été démontrée. De plus, nous avons mis en évidence des difficultés spécifiques aux novices suggérant que l'alcool affecte une sphère plus large de leur comportement comparativement aux conducteurs expérimentés, et ceci dès de faibles doses. Enfin, l'alcool et la tâche d'attention divisée interagissent pour dégrader les performances du conducteur, notamment lorsque celui-ci est inexpérimenté.

En résumé, l'ensemble de nos hypothèses est confirmé : la distraction de l'attention par une tâche secondaire et la conduite sous influence d'alcool sont deux facteurs ayant un impact délétère sur les performances du conducteur et par conséquent sur leur risque d'accident. La tâche secondaire capture l'attention du conducteur et l'influence de l'alcool perturbe ses capacités à traiter les informations environnantes. Leurs impacts sont particulièrement négatif pour les conducteurs novices qui n'ont pas encore automatisé l'ensemble des sous tâches de conduite.

Les mesures subjectives :

L'ensemble des participants a complété le Driving Behaviour Questionnaire. Comme dans les expériences précédentes, les conducteurs rapportent ici plus de violations que d'erreurs d'inattention ($p < 0,05$) et d'erreurs graves ($p < 0,05$).

Les sujets devaient également au début de chaque session évaluer le degré d'alcoolémie auquel ils se situaient. Bien qu'ils aient de grandes difficultés à évaluer précisément leur taux d'alcoolémie, tous arrivent à détecter la présence d'alcool et à évaluer un gradient de concentration (placebo ou très faible dose vs faible dose vs forte dose). Certains participants n'ont pas détecté la condition placebo en pensant qu'ils étaient alcoolisés dans l'ensemble des sessions expérimentales.

Par ailleurs, l'auto-évaluation des performances de conduite à la fin de chaque tâche a mis en évidence un effet du BAC. En effet, les conducteurs s'auto-évaluent comme moins performants lors de chacune des deux sessions alcool (forte dose et faible dose) que lors de la condition placebo ($p < 0,05$). Sous l'influence d'une forte dose d'alcool, ils s'auto-évaluent aussi comme moins performants que sous l'influence d'une faible dose d'alcool ($p < 0,05$). L'auto-évaluation subjective des performances à la tâche suit donc le gradient de concentration (un effet dose de l'évaluation des performances) d'alcool dans le sang.

D'autre part, sous l'influence d'une forte dose d'alcool, les conducteurs évaluent la difficulté de la tâche comme étant plus élevée qu'en condition placebo ($p < 0,05$). Aucune différence significative n'est constatée entre la session de faible dose d'alcool et la session placebo ($p < 0,05$).

A nouveau, les performances objectives sont en accord avec les différentes mesures subjectives effectuées par le conducteur. En effet, les conducteurs s'auto évaluent comme moins performants en double tâche que lors de la réalisation de chacune des tâches simples ($p < 0,05$). Ils évaluent

également la difficulté de la double tâche comme étant supérieure à chacune des tâches simples ($p < 0,05$). Toutefois aucune différence significative n'est notée entre les conducteurs novices et expérimentés suggérant que les novices n'évaluent pas la double tâche comme plus difficile que les conducteurs expérimentés, et par conséquent, ne s'auto-évaluent pas non plus comme moins performants ($p < 0,05$).

Les conducteurs semblent donc conscients de la dégradation de leurs performances à la fois sous l'influence de l'alcool et lors de la réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite. Ces résultats confirment l'existence d'une corrélation entre les mesures subjectives et objectives du comportement du conducteur.

3. Discussion générale

En conclusion, à partir des résultats de nos 3 expériences, différents profils de conducteurs ont pu être établis selon qu'ils sont novices ou expérimentés, sous l'influence de l'alcool et en double tâche.

Les conducteurs novices

Le manque de compétences de conduite lié à l'inexpérience se traduit principalement par des difficultés à réguler la vitesse du véhicule : les conducteurs novices mettent plus de temps à réagir à un freinage du véhicule lièvre. Notre travail a permis de mettre en évidence différents profils de conducteurs en fonction du type d'apprentissage suivi : ceux ayant suivi un AT présentent des difficultés à maintenir une position latérale stable sur la voie alors que ceux ayant suivi un AAC adoptent une vitesse plus élevée que celle des expérimentés. Notre travail n'a pas mis en évidence d'effets bénéfiques de l'AAC sur les performances du conducteur. Au contraire, nos résultats suggèrent une augmentation de la prise de risques suite à la période d'apprentissage accompagnée avec un adulte. Dans l'expérience 1, la prise de risques augmente avec l'expérience et atteint un pic à l'âge de 21 ans, soit trois ans après l'obtention du permis. Il est donc possible que la période d'apprentissage avec un adulte lors de l'AAC soit suffisante pour que le conducteur novice prenne déjà confiance en ses capacités et commence à adopter des comportements risqués. Par ailleurs, la dégradation des performances de conduite liée à la distraction de l'attention par une tâche secondaire est plus prononcée pour les conducteurs novices que pour les expérimentés. Les sous-tâches motrices nécessaires au contrôle de la trajectoire et à la maîtrise du véhicule nécessitent encore un contrôle de l'attention pour les novices, et mobilisent une grande quantité de ressources attentionnelles. La réalisation d'une tâche cognitive répétée durant l'activité de conduite exige alors que le conducteur novice désinvestisse une partie de ses ressources préalablement allouées à la tâche de suivi de véhicule. Par conséquent, peu de ressources restent disponibles pour être allouées à la tâche secondaire. Ainsi, en double tâche le novice se trouve plus rapidement en situation de surcharge que le conducteur expérimenté. Ces résultats sont intéressants car ils permettent d'expliquer, au moins en partie, la surreprésentation des conducteurs novices dans les accidents liés à une distraction de l'attention.

Distraction vs Alcool

Distraction et alcool sont considérés comme deux facteurs influençant le comportement du conducteur et par conséquent le risque d'accident. Lors de nos expériences en simulateur de conduite, nous avons mis en évidence une influence différente de ces deux facteurs sur les performances. La réalisation d'une tâche secondaire pendant la conduite perturbe en priorité les compétences de régulation de vitesse et de distance du conducteur alors que les performances de maintien de la position latérale du véhicule sur la voie sont préservées. En revanche, sous l'influence de l'alcool, l'ensemble des mesures de la dynamique du véhicule (vitesse, distance, position) sont altérées. Autrement dit, lorsque l'attention du conducteur est distraite par la réalisation d'une tâche secondaire, il met plus de temps pour réguler la vitesse et allonge sa distance de sécurité. En revanche, sous l'influence d'une forte dose d'alcool (BAC de 0,5 gr/L), le conducteur met plus de temps à réagir pour freiner, réduit sa distance de sécurité et a des difficultés à maintenir une position latérale stable sur la voie. Dans le cadre du modèle d'interaction tâche-capacité (Fuller, 2005), la réalisation d'une tâche secondaire à la conduite est un des facteurs d'accroissement de la difficulté. En double tâche, les conducteurs tentent de réduire la difficulté par un allongement des distances de sécurité, alors que sous l'influence d'une forte dose d'alcool, ils échouent à mettre en place ces mécanismes compensatoires et adoptent des comportements risqués. Enfin, la précision du traitement d'une information présentée en périphérie du champ visuel est dégradée à la fois par la réalisation d'une double tâche et par la consommation d'alcool alors que la vitesse de traitement de l'information est préservée. Ces résultats s'interprètent comme une centration de l'attention vers l'avant du véhicule et vont dans le sens d'une dissociation entre les processus liés à la vitesse de traitement de l'information et ceux liés à son exactitude. En raison d'une capacité limitée du système de traitement de l'information, les conducteurs ont des difficultés à partager adéquatement leurs ressources entre plusieurs tâches. De plus, l'alcool réduit le focus attentionnel et dégrade la capacité du conducteur à « switcher » entre deux tâches.

Les deux facteurs, distraction du conducteur et alcool, jusque là étudiés isolément, interagissent : le conducteur présente plus de difficultés à maintenir une position latérale stable sur la voie lors de la réalisation d'une double tâche sous l'influence d'une forte dose d'alcool (BAC de 0,5gr/L) que dans les autres conditions expérimentales (distraction seule / alcool seul). Il existe donc un effet additionnel entre la dégradation provoquée par l'ingestion d'alcool et celle liée à la réalisation d'une tâche secondaire. Cette interaction est particulièrement visible pour les conducteurs novices qui présentent des difficultés de régulation de vitesse (nombre d'appuis sur la pédale de frein) supplémentaires à celles des conducteurs expérimentés dans la condition forte dose d'alcool et double tâche. Par ailleurs il semble que les performances du conducteur sous l'influence d'une

faible dose d'alcool soient plus sensibles à la monotonie de la tâche simple de suivi de véhicule qu'à la distraction par une tâche secondaire : l'amplitude moyenne des sorties de voie du conducteur est plus grande en simple tâche qu'en double tâche, notamment pour les conducteurs novices. Un effet délétère des faibles doses d'alcool sur les performances des conducteurs, et en particulier des novices, a donc été démontré. Toutefois, contrairement à nos hypothèses, cet effet a été mis en évidence lors de la réalisation de tâche peu complexe et monotone et non en double tâche.

La tâche simple de suivi de véhicule

Au vu des résultats surprenants obtenus en simple tâche de suivi de véhicule (difficultés de régulation de vitesse et de position sur la voie), il semble que celle-ci ne doive pas être seulement considérée comme une tâche de référence en comparaison à la double tâche, mais bien comme une tâche de conduite à part entière dotée de caractéristiques propres. Le conducteur doit intégrer et interpréter les éléments présents dans la scène visuelle dans le but de fournir une réponse adéquate à la situation. L'intégration des informations va permettre l'acquisition de connaissances sur lesquelles vont se développer des stratégies automatiquement activées avec l'expérience. Dans notre expérience, la tâche simple de suivi de véhicule est réalisée dans un environnement visuel appauvri et dénaturé pendant plusieurs minutes (15 minutes dans l'expérience 1, 10 minutes dans l'expérience 2). Elle peut être qualifiée de tâche monotone, et est alors susceptible de faire chuter le niveau de vigilance du conducteur. Par ailleurs, le type de marquage au sol est également susceptible d'influencer la position latérale du véhicule sur la voie. Dans notre expérience, le marquage au sol est une ligne non continue, les déplacements de la position latérale moyenne du véhicule vers la gauche et les nombreuses sorties de voies sont alors susceptibles de traduire l'impatience du conducteur qui reste bloqué derrière le véhicule lièvre ainsi que son envie de le dépasser.

Limites

Au vu de la diversité de ces résultats, il semble important qu'un consensus soit établi au sujet des divers indicateurs permettant de caractériser le comportement du conducteur. Il serait utile de préciser le sens et le seuil de dégradation plus ou moins acceptables de chacun de ces indicateurs. Par exemple, l'augmentation de la vitesse adoptée, ou au contraire, sa réduction peuvent tous deux être envisagées comme une altération des performances. De plus, une modification de la position latérale sur la voie de 5 cm est certes statistiquement significative, mais nous pouvons nous interroger sur la pertinence de ce résultat quant à son lien avec l'augmentation réelle du risque

d'accident. Les différents indicateurs de conduite ne doivent pas être examinés un par un mais bien sous l'angle d'un ensemble de mesures qui lorsqu'elles sont réunies permettent de caractériser le comportement du conducteur.

Enfin, nous reconnaissons que nos résultats et conclusions sont limités, car bien qu'ayant été collectés dans un contexte expérimental rigoureux, nos échantillons sont relativement faibles et la variabilité des performances est assez élevée sur certains indicateurs, notamment sous l'influence de l'alcool. De plus, dans nos expériences, les sous tâches motrices sont facilitées par l'absence de boîte de vitesse manuelle dans le simulateur et l'exploration visuelle de l'environnement est limitée par l'absence de rétroviseurs. Ces éléments ont contribué à atténuer les différences liées à l'expérience et ont parfois rendu difficile la mise en évidence d'interaction significative ce qui nous a poussé à nous intéresser également aux résultats tendancieux.

Perspectives

L'enrichissement des connaissances fondamentales sur une activité aussi complexe que commune est indispensable pour améliorer la sécurité des usagers de la route. Ce travail apporte ainsi des éléments nouveaux en matière de prévention et permet de montrer comment la distraction et l'alcool impactent les performances des conducteurs, novices et expérimentés. De plus, il peut être utile à la formation des conducteurs novices, dans la mesure où les connaissances apportées orientent l'apprentissage sur les éléments dégradés par la distraction et l'alcool. Enfin, outre son aspect ludique, la conduite sur simulateur est susceptible d'avoir une visée pédagogique car elle permet au conducteur de prendre conscience de la dégradation de ses performances lorsqu'il est distrait et/ou alcoolisé. Il serait intéressant de savoir si une telle prise de conscience a un impact sur le comportement réel adopté par la suite. Le simulateur de conduite serait alors un outil pertinent pour l'apprentissage de la conduite, notamment la gestion des situations risquées.

En conclusion, ce travail apporte des connaissances nouvelles quant à l'impact de la distraction et de l'alcool sur les performances des conducteurs novices et expérimentés. Il permet d'expliquer en partie, la surreprésentation des conducteurs novices dans les accidents liés d'une part à la distraction de l'attention par une tâche secondaire, et d'autre part à la consommation d'alcool. De nombreuses interactions entre inexpérience de conduite, distraction de l'attention et alcool ont été mises en évidence. Ces multiples interactions, bien que parfois complexes à décrire, s'intègrent parfaitement dans la perspective multifactorielle des accidents de la route.

4. Bibliographie

- Åberg, L. et Rimmö, P.-A. (1998). Dimensions of aberrant behaviour. *Ergonomics*, 41 (2), 39-56.
- Åberg, L., Afram, G., et Nilsson, M. (2005). *Perception of other drivers' errors and violations and easiness of error detection*. Paper presented at the 18th ICTCT Workshop. Helsinki: International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety. Retrieved from http://www.ictct.org/dlObject.php?document_nr=21&/S2_Aberg.pdf
- Abrams, B.D., Gottlob, L.R. et Fillmore, M.T. (2006). Alcohol effects on inhibitory control of attention: distinguishing between intentional and automatic mechanisms. *Psychopharmacology*, 188, 324-334. DOI 10.1007/s00213-006-0524-y
- Ades, J. et Lejoyeux, M. (2004). Conduite de risque. *EMC-Psychiatrie*, 1 (3), 201-215. DOI : 10.1016/j.emcps.2044.03.003
- Aires Domingues, S.C., Barreto Mendonca, J., Laranjeira, R., Nakamura-Palacios, E.M. Drinking and driving : a decrease in executive frontal functions in young drivers with high blood alcohol concentration. *Alcohol*, 43, (8) 657-664. DOI: 10.1016/j.alcohol.2009.10.001
- Allen, R.W., Park, G.D., et Cook, M.L. (2010). Simulator fidelity and validity in a transfer of training context. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2185, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. , pp. 40-47. DOI: 10.3141/2185-06
- Alm, H. et Nilson, L. (1995). The effects of mobile telephone task on driver behaviour in a car following task. *Accident Analysis and Prevention*, 27(5), 707-715. DOI: 10.1016/0001-4575(95)00026-V
- Amado, S. et Ulupinar, P. (2005). The effects of conversation on attention and peripheral detection: Is talking with a passenger and talking on the cell phone different? *Transportation Research, Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 8 (6), 383-395. ISSN 1369-8478, DOI : 10.1016/j.trf.2005.05.001
- Amalberti, R. (2001a). *La conduite de systèmes à risque* (2ème éd). Paris : PUF (1ère éd : 1996).
- Amalberti, R. (2001b). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, 46(2), 107-118.
- Amalberti, R. et Hoc, J.M. (1998). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : pour quels buts ? comment ? *Le travail humain*, 61(3), 209-234.
- Andersen, G.J., Ni, R., Bian, Z. et Kang, J. (2011). Limits of spatial attention in three-dimensional space and dual-task driving performance. *Accident Analysis and Prevention* 43 (1), 381-390. doi:10.1016/j.aap.2010.09.007.
- Anderson, J.R. (1982). Acquisition of Cognitive Skill. *Psychological Review*, 89 (4), 349-406. DOI : 10.1037/0033.295X.89.4.369.
- Andreuccetti, G., Carvalho, H.B., Cherpitel, C.J., Ye, Y., Ponce, J.C., Kahn, T. et Leyton, V. (2011). Reducing the legal blood alcohol concentration limit for driving in developing countries : a time for change? Results and implications derived from a time-series analysis (2001-10) conducted in Brazil. *Addiction*, 106 (12), 2124-2131. doi:10.1111/j.1360-0443.2011.03521.x
- Andres, P. (2000). Age-Related Difference in Supervisory Attentional System Functions. *The Journals of Gerontology*, 55(6), 373-380 DOI : 10.193/geronb/55.6.P373
- Andrian J. (1992). La violence routière chez les jeunes de 15 à 24 ans. *Cahier de Sociologie et de Démographie Médicale*, 32 (4), 305-48. Récupéré à l'adresse : http://ireps-ors-paysdelaloire.centredoc.fr/opac/index.php?lvl=notice_display&id=5513
- Arnett, J. (1990). Drunk driving, sensation seeking, and egocentrism among adolescents. *Personality and Individual Differences*, 11, 541-546. DOI : 10.1016/0191-8869(90)90035-P
- Arnett, J. Offer, D. et Fine, M.A. (1997). Reckless driving in adolescence: "State" and "trait" factors. *Accident Analyses Prevention*, 29 (1), 57-63.
- Atchley, P., et Chan, M. (2010). Potential benefits and costs of concurrent task engagement to maintain vigilance : A driving simulator investigation. *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics society*, 53(1), 3-12. DOI: 10.1177/0018720810391215

- Bailly, B., Bellet, T., et Goupil, C. (2003). Drivers' mental representations : experimental study and training perspectives. Dans L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training* (pp. 359-369). Stratford-upon-Avon, England: Ashgate.
- Bailly, B. (2004). *Conscience de la situation des conducteurs : Aspects fondamentaux, méthodes et application pour la formation des conducteurs*. (Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, France). Récupéré de la page personnelle de l'auteur : http://b.bailly.free.fr/These_bbailly.pdf
- Bastien, C., Bastien-Toniazzo, M. (2004). *Apprendre à l'école*. Paris : A. Colin.
- Batel, P. (2013). *Alcool et cerveau. Bénéfices et Dommages*. Communication présentée à la Conférence de la Société de Neuropsychologie de Langue Française, Caen, France.
- Begg, D. et Langley, J. (2001). Changes in risky driving behavior from age 21 to 26 years. *Journal of Safety Research* 32 (4), 491–499. DOI : 10.1016/S0022-4375(01)00059-7
- Behrendorf, I., et Steentoft, A. (2003). Medicinal and illegal drugs among Danish car drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (6), 851-860. DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00090-8
- Beilock, S.L., Carr, T.H., MacMahon, C. et Starkes, J.L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8 (1), 6–16.
- Beilock, S.L., Wierenga, S.A. et Carr, T.H. (2002). Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55 (4), 1211-1240.
- Belloc, B. et Ivaldi, M. (1990). *Évaluation de l'apprentissage anticipé de la conduite. Enquête de juin 1990*, Toulouse : Groupe de Recherche en Economie Mathématiques Quantitatives. Université des sciences sociales de Toulouse.
- Berg, H.Y. (2001). Understanding subgroups of novice drivers. A basis for increased safety and health. *Dissertations No. 665*. Linköping University Medical. Récupéré le 25 avril 2014 à l'adresse : <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:20981/FULLTEXT01.pdf>
- Berthelon, C. et Gineyt, G. (2014). Effects of alcohol on automated and controlled driving performances. *Psychopharmacology*, 231 (10), 2087-2095. DOI 10.1007/s00213-013-3352-x
- Bian, Z., Kang, J.J. et Andersen, G.J. (2010). Changes in extent of spatial attention with increased workload in dual-task driving. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2185, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 8–14. DOI: 10.3141/2185-02
- Bina, M., Graziano, F. et Bonino, S. (2006). Risky driving and lifestyles in adolescence. *Accident Analysis & Prevention* 38 (2), 472–481.
- Bingham, C.R., Shope, J.T., Parow, J. et Raghunathan, T.E. (2009). Crash types: Markers of Increased Risk of Alcohol-Involved Crashes Among Teen Drivers. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, 70 (4), 528–535.
- Birdsall, W.C., Reed, B.G., Huq, S.S., Wheeler, L. et Rush, S. (2012). Alcohol impaired driving: average quantity consumed and frequency of drinking does matter. *Traffic Injury Prevention*, 13(1), 24-30.
- Bjørnskau, T., et Sagberg, F. (2005). What do novice drivers learn during the first months of driving? Improved handling skills or improved road user interaction? Dans G. Underwood (Ed.), *Traffic & transportation psychology. Theory and Application* (pp. 129–140). Oxford: Elsevier.
- Blanco, M., Biever, W.J., Gallagher, J.P., et Dingus, T.A. (2006). The impact of secondary task cognitive processing demand on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (5), 895-906. DOI : 10.1016/j.aap.2006.02.015
- Blokey, P. N. et Hartley, L. R. (1995). Aberrant driving behaviour: errors and violations. *Ergonomics*, 38 (9), 1759–1771. DOI: 10.1080/00140139508925225
- Bontemps, T., Lagadec, J. et Page, Y. (1993). *Efficacité de l'apprentissage anticipé de la conduite sur la diminution du taux d'accidents chez les jeunes conducteurs*, Paris/La Défense : Sylab/ONISR, 1993.
- Borowsky, A., Oron-Gilad, T. et Parmet, Y. (2009). Age and skill differences in classifying hazardous traffic scenes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12, 277–287. DOI : 10.1016/j.trf.2009.02.001
- Borowsky, A., Shinar, D. et Oron-Gilad, T. (2010). Age, skill, and hazard perception in driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (4), 1240–1249. DOI : 10.1016/j.aap.2010.02.001

- Borowsky, A., Shinar, D., et Parmet, Y. (2008). The relation between driving experience and recognition of road signs relative to their locations. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50 (173), 173–182. DOI: 10.1518/001872008X288330
- Botwinick, J. et Thompson, L.W. (1966). Premotor and motor components of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 71(1), 9-15.
- Boucart M., Fabre-Thorpe M., Thorpe S., Arndt C. et Hache, J.-C. (2001). Covert object recognition at large visual eccentricity. *Proceedings of the 1st meeting of the Vision Science Society* (Sarasota, Florida, USA).
- Burgess, P.W. (1996). Bizarre responses, rule detection and frontal lobe lesions. *Cortex*, 32 (2), 241–259. DOI : 10.1016/S0010-9452596°80049-9.
- Broadbent, D (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon Press. Applied Psychology Research Unit, Medical Research Council, Cambridge, England
- Brookhuis, K.A., De Vries, G. et De Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 23 (4), 309–316.
- Brookhuis, K.A. et De Waard, D (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics* 37 (3), 427-434.
- Brookhuis, K.A. et De Waard, D (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (3), 898-903.
- Brouwer, W.H. (2002). Attention and driving : A cognitive neuropsychological approach. Dans Leclercq, M., et Zimmerman, P. *Applied Neuropsychology of Attention. Theory, Diagnosis and Rehabilitation*, pp 230-254.
- Brown, I. D. et Groeger, J. A. (1988). Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status. *Ergonomics*, 31 (4), 585–597. DOI: 10.1080/00140138808966701
- Campagne, A., Pebayle, T. et Muzet, A. (2004). Correlation between driving errors and vigilance level : influence of the driver's age. *Physiology & Behavior*, 80 (4), 515-524.
- Camus, J.F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris : A. Colin.
- Carreras, O. (1999). *Représentation temporelle et ajustement de l'action à la dynamique de l'environnement*. (Thèse de doctorat, Université de Toulouse le Mirail, France).
- Causse, P., Kouabenan, D.R. et Delhomme, P. (2004). Perception du risque d'accident lié à l'alcool chez des jeunes automobilistes : quelques déterminants de l'optimisme comparatif. *Le travail humain*, 67 (3), 235–256. DOI : 10.3917/th.673.0235
- Cellier, J.M. (1996). Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. Dans J.M. Cellier, V. De Keyser, et C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (p. 9-48). Paris : PUF.
- Chan, E., Pradhan, A.K., Pollatsek, A., Knodler, M.A. et Fisher, D.L. (2010). Are driving simulators effective tools for evaluating novice drivers' hazard anticipation, speed management, and attention maintenance skills? *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 13 (5), 343-353. DOI : 10.1016/j.trf.2010.04.001
- Chang, S., Hwang, J., Hsu, C., Fung, C., Chang, C., et Chang, K. (2006). The study on the influence of a mixed traffic flow on driving performances using a driving simulator. Dans *Proceedings of the driving simulation conference* (p. 103–110). Paris, France.
- Chanquoy, L., Tricot, A. et Sweller, J. (2007) *La charge cognitive. Théorie et applications*. Paris : Armand Colin.
- Chapman, P.R. et Underwood, G. (1998). Visual Search of Driving Situations: Danger and Experience. *Perception*, 27 (8), 951–964. DOI : 10.1068/p270951
- Chapman, P.R., Underwood, G. et Roberts, K. (2002). Visual search patterns in trained and untrained novice drivers. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 5 (2), 157–167. DOI : 10.1016/S1369-8478(02)00014-1.
- Chapon, A., Gabaude, C., et Fort, A. (2006). *Défauts d'attention et conduite automobile : état de l'art et nouvelles orientations pour la recherche dans les transports*. (Rapport n°52). France, INRETS.
- Chiles, W.D. et Jennings, A.E. (1969). Effects of alcohol on complex performance. *Human Factors*, 12 (6), 605-612.
- Christoforou, Z., Karlaftis, M. G., & Yannis, G. (2011). Young drivers and alcohol impaired driving: a driving simulator experiment. Dans *Proceedings of the Road Safety and Simulation Conference* (pp. 14-16).

- Clarke, D.D., Ward, P., Truman, W. (2005). Voluntary risk taking and skill deficits in young driver accidents in the UK. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (3), 523-529. DOI : 10.1016/j.aap.2005.01.007
- Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, G. et Truman, W. (2006). Young driver accidents in the UK: The influence of age, experience, and time of day. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (5), 871-878. DOI : 10.1016/j.aap.2006.02.013
- Clifasefi, S.L., Takarangi, M.K.T. et Bergman, J.S. (2006). Blind drunk : the effects of alcohol on inattentive blindness. *Applied cognitive psychology*, 20 (5), 697-704. DOI: 10.1002/acp.1222
- Cohen, J.D., Servan-Shreiber, D., et McClelland, J.L. (1992). A parallel distributed processing approach to automaticity. *American Journal of Psychology*, 105 (2), 239-269.
- Colburn, N., Meyer, R.D., Wrigley, M. et Bradley, E.L. (1993). Should motorcycles be operated within the legal alcohol limits for automobiles. *The Journal of Trauma*, 35(2), 183-186.
- Cooper, R. et Shallice, T. (2000). Contention scheduling and the control of routine activities. *Cognitive neuropsychology*, 17 (4), 297-338. Récupéré à l'adresse : <http://www.sissa.it/cns/Articles/Cooper2000.pdf>
- Couillet, J., Leclerc, M., Moroni, C., Azouvi, P. (2001). *La neuropsychologie de l'attention*. Marseille, France : Solal.
- Crundall, D.E. et Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41 (4), 448-458.
- Damn, L., Nachtergaele, C., Meskali, M. et Berthelon, C. (2011). The evaluation of traditional and early driver training with simulated accident scenarios. *Human Factors*, 53 (4), 323-337
- De Craen, S. (2010). *The X factor. A longitudinal study of calibration in young novice drivers* (Dissertation doctorale). The Netherlands TRAIL Research School: TRAIL Thesis Series T2010/2
- De Craen, S., Twisk, D.A.M., Hangenzielker, M.P., Elffers, H., et Brookhuis, K.A. (2008). The development of a method to measure speed adaptation to traffic complexity: Identifying novice, unsafe, and overconfident drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (4), 1524-1530. DOI : 10.1016/j.aap.2008.03.018
- De Craen, S., Twisk, D.A.M., Hagenzielker, M.P., Elffers, H., Brookhuis, K.A. (2011). Do young novice drivers overestimate their driving skills more than experienced drivers? Different methods lead to different conclusions. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (5), 1660-1665. DOI : 10.1016/j.aap.2011.03.024
- Deery, H.A. (1999). Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers. *Journal of Safety Research*, 30(4), 225-236. DOI : 10.1016/S0022-4375(99)00018-3
- Dejoy, D.M. (1989). The optimism bias and traffic accident risk perception. *Accident Analysis & Prevention*, 21 (4), 333-341. DOI : 10.1016/0001-4575(89)90024-9.
- Delhomme, P. (1991). Comparing one's driving with others': Assessment of abilities and frequency of offences. Evidence for a superior conformity of self-bias? *Accident Analysis & Prevention*, 23 (6), 493-508. DOI : 10.1016/0001-4575(91)90015-W.
- Deutsch, J. et Deutsch, D. (1963). Attention : Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90. Récupéré à l'adresse : http://deutsch.ucsd.edu/pdf/Psych_Rev-1963_70_80-90.pdf
- De Winter, J. C. F., Wieringa, P. A., Kuipers, J., Mulder, J. A. et Mulder, M. (2007). Violations and errors during simulation-based driver training. *Ergonomics*, 50 (1), 138-158. DOI: 10.1080/00140130601032721
- De Winter, J.C.F. et Dodou, D. (2010). The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis. *Journal of Safety Research*, 41 (6), 463-470. DOI : 10.1016/j.jsr.2010.10.007
- Dijksterhuis, C., Brookhuis, K.A. et De Waard, D. (2011). Effects of steering demand on lane keeping behaviour, self-reports, and physiology. A simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (3), 1074-1081. DOI : 10.1016/j.aap.2010.12.014
- Do Canto Pereira, L.H., de PA David, I., Machado-Pinheiro, W. et Ranvaud, R.D. (2007). Effects of acute alcohol intoxication on visuospatial attention. *Human & Experimental Psychology*, 26 (4), 311-319.
- Duka, T., Weissenborn, R., Dienes, Z. (2001). State-dependent effects of alcohol on recollective experience, familiarity and awareness of memories. *Psychopharmacology*, 153 (3), 295-306.
- Dupont, E., Martensen, H. et Silverans, P. (2010). *Abaissement du taux d'alcool autorisé pour les conducteurs novices et les conducteurs de grands véhicules : 0.2 ‰*. Institut Belge pour la Sécurité Routière -Centre de connaissance, Brussels, Belgium

- Elander, J., West, R. et French, D. (1993). Behavioural correlates of individual differences in road-traffic crash risk: An examination of methods and findings. *Psychological Bulletin*, 113 (2), 279–294.
- Endsley, M. R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. Dans *Proceeding of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, Santa Monica, CA, United-States.
- Endsley, M.R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64. Récupéré à l'adresse : <http://uwf.edu/skass/documents/HF.37.1995-Endsley-Theory.pdf>
- Endsley, M. R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness : a critical review. Dans M. R. Endsley et D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness, Analysis and Measurement* (pp. 3-32). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Engströme, I., Gregersen, N.P., Hernetkoski, K., Keskinen, E. et Nyberg, A. (2003). *Jeunes Conducteurs novices, Éducation et formation du conducteur*. (Rapport VTI no. 491A). Linköping, Sweden: Swedish National Road and Transport Research Institute.
- Espie, S., Gauriat, P. et Duraz, M. (2005). Driving simulators validation: The issue of transferability of results acquired on simulator. Dans *Proceedings of Driving Simulation Conference North-America (DSC-NA 2005)*, Orlando, FL.
- Evans, L. (2004). *Traffic safety*. Bloomfield Hills, MI: Science Serving Society.
- Falkmer, T. et Gregersen, N.P. (2001). Fixation patterns of learner drivers with and without cerebral palsy when driving in real traffic environment. *Transportation Research Part F, Traffic Psychology and Behaviour*, 4 (3), 171–185. DOI : 10.1016/S1369-8478(01)00021-3
- Fell, J.C. et Voas, R.B. (2009). Reducing illegal blood alcohol limits for driving: effects on traffic safety. Dans J.C. Verster, S.R. Pandi-perumal, J.G. Ramaekers et J.J. de Gier, *Drugs, Driving and Traffic Safety*. Birkhauser Verlag/ Suisse.
- Fillmore, M.T., Blackburn, J.S., Harrison, E.L.R. (2008). Acute desinhibiting effects of alcohol as a factor in risky driving behavior. *Drug and Alcohol Dependence*, 95 (1-2), 97-106. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2007.12.018.
- Fillmore, M.T., Ostling, E.W., Martin, C.A. et Kelly, T.H. (2009). Acute effects of alcohol on inhibitory control and information processing in high and low sensation-seekers. *Drug and Alcohol Dependence*, 100 (1-2), 91-99. DOI : 10.1016/j.drugalcdep.2008.09.007
- Filtness, A.J., Rudin-Brown, C.M., Mulvihill, C.M. et Lenné, M.G. (2013). Impairment of simulated motorcycle riding performance under low dose alcohol. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 608-615. DOI : 10.1016/j.aap.2012.06.009
- Finnigan, F. et Hammersley, R. (1992). The effects of alcohol on performance. Dans A.P. Smith et D.M. Jones (Eds.), *Handbook of human performance, Vol. 2 : Health and performance*. London: Academic Press.
- Finn, P. et Bragg, B.W.E. (1986). Perception of the risk of an accident by young and older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 18 (4), 289–298. DOI : 10.1016/0001-4575(86)90043-6
- Fisk, A.D. et Schneider, W. (1982). Type of Task Practice and Time-Sharing Activities Predict Performance Deficits Due to Alcohol Ingestion. Dans *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. Vol. 26* (p. 926-930). Récupéré à l'adresse : <http://pro.sagepub.com/content/26/11/926.abstract>.
- Fodor, J. (1986). *The Modularity of Mind*, Cambridge Mass., MIT Press.
- Fuller, R. (2000). The task–capability interface model of the driving process. *Recherche Transports Sécurité*, 66, 47–59. DOI: 10.1016/S0761-8980(00)80005-9
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (3), 461-472. DOI : 10.1016/j.aap.2004.11.003
- Gabaude, C., Marquié, J.C. et Obriot-Claudé, F. (2010). Self-regulatory driving behaviour in the elderly: relationships with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le travail humain*, 73 (1), 31–52. Récupéré à l'adresse : <http://www.visat.fr/uploads/documents/Gabaude%20et%20al.%20-%20travail%20humain-2010.pdf>
- Glendon, I. (2011). Neuroscience and Young Drivers. Dans B.E. Porter, *Handbook of Traffic Psychology*. (Ed.), Academic Press, San Diego, (p.109-125). DOI : 10.1016/B978-0-12-381984-0.10009-8.
- Gray, J.A. et Wedderburn, A.A.I. (1960). Grouping strategies with simultaneous stimuli. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 180-184. Récupéré à l'adresse : <http://step.psy.cmu.edu/articles/Gray.pdf>.

- Gras, M. E., Sullman, M.J.M., Cunill, M., Planes, M., Aymerich, M. et Font-Mayolas, S. (2006). Spanish drivers and their aberrant driving behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9 (2), 129-137. DOI : 10.1016/j.trf.2005.09.004
- Gregersen, N.P. (1993). *Integrated driver education: An experiment with systematic cooperation between traffic schools and private teachers*. (Rapport VTI n°376) Swedish Road and Transport Research Institute, Linköping.
- Gregersen, N.P. (1994). Systematic cooperation between driving schools and parents in driver education: An experiment. *Accident Analysis & Prevention*, 26 (4), 453–461. DOI: 10.1016/0001-4575(94)90036-1.
- Gregersen, N.P. (1996). Young drivers' overestimation of their own skills- an experiment on the relation between training strategy and skill. *Accident Analysis & Prevention*, 28(2), 243–250. DOI : 10.1016/0001-4575(95)00066-6
- Gregersen, N. P. (1998), *Young Car Drivers: Why Are They Over Represented in Traffic Accidents? How Can Driver Training Improve their Situation?*(Rapport VTI n°409A) Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping.
- Gregersen, N.P., Berg, H.Y., Engström, I., Nolen, S., Nyberg, A. et Rimmo, P. (2000). Sixteen years age limit for learner drivers in Sweden – an evaluation of safety effects. *Accident Analysis & Prevention*, 32 (1), 25-35. DOI: 10.1016/S0001-4575(99)00045-7
- Gueho, L., Granié, M.A. et Abrieu, J.C. (2014). French validation of a new version of the Driver Behavior Questionnaire (DBQ) for drivers of all ages and level of experiences. *Accident, Analysis & Prevention*, 63, 41-48. DOI : 10.1016/j.aap.2013.10.024.
- Hahn, M., Wild-Wall, N. et Falkenstein, M. (2011). Age-related differences in performance and stimulus processing in dual task situation. *Brain research*, 1414, 66-76. DOI: 10.1016/j.brainres.2011.07.051.
- Hakamies-Blomqvist, L., Mynttinen, S., Backman, M., et Mikkonen, V. (1999). Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *International Journal of Behavioral Development*, 23(3), 575–589.
- Haier, R.J., Schandler, S.L., MacLachlan, A., Soderling, E., Buchsbaum, M.S. et Cohen, M.J. (1999). Alcohol induced changes in regional cerebral glucose metabolic rate during divided attention. *Personality and Individual Differences*, 26, 425-439.
- Hall, J., et West, R. (1996). The role of formal instruction and informal practice in learning to drive. *Ergonomics*, 39 (4), 693–706.
- Hamama, H. (2010). *Impact des situations d'attention partagée sur le traitement de l'information chez les conducteurs novices*. (Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, France).
- Hampson, S.E., Burn, W., Severson, H.H. et Slovic, P. (1992). Adolescent alcohol-related risk taking: exploring structural relations among risk perceptions. *Personality and Risk-Taking*, 5, 93–94.
- Harbluk, J.L., Noy, Y.I., Trbovich, P.L. et Eizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis & Prevention*, 39 (2), 372-379. DOI : 10.1016/j.aap.2006.08.013
- Harrison, E.L.R. et Fillmore, M.T. (2011). Alcohol and distraction interact to impair driving performance. *Drug and Alcohol Dependence*, 117 (1), 31-37. DOI : 10.1016/j.drugalcdep.2011.01.002
- Hatfield, J., and Fernandez, R., (2009). The role of risk-propensity in the risky driving of younger drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 41 (1), 25-35. DOI : 10.1016/j.aap.2008.08.023
- Helland, A., Jenssen, G.A., Lervag, L.E., Westin, A.A., Moen, T., Sakshaug, K., Lydersen, S., Morland, J. et Slordal, L. (2013). Comparison of driving simulator performance with real driving after alcohol intake: A randomised, single blind, placebo-controlled, cross-over trial. *Accident Analysis & Prevention* 53, 9-16. DOI : 10.1016/j.aap.2008.08.023
- Hernandez, O.H., Vogel-Sprott, M. et Ke-Aznar, V.I. (2007). Alcohol impairs the cognitive component of reaction time to an omitted stimulus: a replication and an extension. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, 68 (2), 276-281.
- Higelé, P. et Hernja, G. (2007). La compréhension de conduite et les prises de risques chez les conducteurs novices jeunes. *Recherche Transport Sécurité*, 98, 13-37. Récupéré à l'adresse : <http://www.arl-collectif.org/articlephigele.pdf>
- Hoc, J.M. et Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39 (2), 177-192. Récupéré de la page personnelle de Jean Michel Hoc : <http://jeanmichelhoc.free.fr/pdf/BIBLIO%20HOC.htm>

- Hoc, J.M. et Amalberti, R. (2003). Adaptation et contrôle cognitif : supervision des situations dynamiques complexes. *Proceeding d'EPIQUE*. Récupéré à l'adresse : <http://sfpsy.org/spe-grape/Actes-Epique-2003/EPIQUE2003Actes%282%29-3.pdf>
- Hoc, J.M. et Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1 (1), 22–55.
- Hoc, J.M. et Cellier, J.M. (2001). La gestion d'environnements dynamiques. *Psychologie française*, 46 (2), 103-106. Récupéré de la page personnelle de Jean Michel Hoc : <http://jeanmichelhoc.free.fr/pdf/HocCel%202001.pdf>
- Holloway, F.A. (1994). Low-dose alcohol effects on human behavior and performance : A review of post-1984 research. *Office of Aviation Medicine Washington, D.C.* 20591.
- Horberry, T., Anderson, J., Regan, M.A., Triggs, T.J. et Brown, J. (2006). Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (1), 185–191. DOI : 10.1016/j.aap.2005.09.007
- Horrey, W.J., Lesch, M.F. et Garabet, A. (2008). Assessing the awareness of performance decrements in distracted drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (2), 675–682. DOI : 10.1016/j.aap.2007.09.004
- Horrey, W.J., Lesch, M.F. et Garabet, A. (2009). Dissociation between driving performance and drivers' subjective estimates of performance and workload in dual-task conditions. *Journal of Safety Research*, 40 (1), 7–12. DOI : 10.1016/j.jsr.2008.10.011
- Horwood, L.J. et Fergusson, D.M. (2000). Drink driving and traffic accidents in young people. *Accident Analysis & Prevention*, 32 (6), 805-814. DOI : 10.1016/S0001-4575(00)00005-1
- Hosking, S.G., Young, K.L. et Regan, M.A. (2009). The effects of text messaging on young drivers. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51 (4), 582-592. DOI: 10.1177/0018720809341575
- Iudice, A., Bonanni, E., Gelli, A., Frittelli, C., Iudice, G., Cignoni, F., Ghicopoulos, I. et Murri, I. (2005). Effects of prolonged wakefulness combined with alcohol and hands-free cell phone divided attention tasks on simulated driving. *Human Psychopharmacology*, 20 (2), 125-132.
- Jahn, G., Oehme, A., Krems, J. F. et Gelau, C. (2005). Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transportation Research Part F : Traffic Behaviour and Psychology*, 8 (3), 255-275. Récupéré à l'adresse : http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/fileadmin/user_upload/files/publications/pdfs/pdf2753.pdf
- Jamson, A.H., Westerman, S.J., Hockey, G.R.J., et Carsten, O.M.J. (2004). Speech-based e-mail and driver behaviour. Effects of an in-vehicle message system interface. *Human Factors*, 46 (4), 625-639. DOI : 10.1177/0018720809341575
- Jellalian, E., Alday, S., Spirito, A., Rasile, D. et Nobile, C. (2000). Adolescent motor vehicle crashes: the relationship between behavioral factors and self-reported injury. *Journal of adolescent health*, 27 (2), 84–93. DOI : [10.1016/S1054-139X\(00\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(00)00098-7)
- Jonah, B. A., et Dawson, N.E. (1987). Youth and Risk: Age differences in risky driving, risk perception and risk utility. *Alcohol Drugs and Driving*, 3 (3-4), 13-29.
- Kahneman., D. (1973). *Attention and effort*. Englewoods Cliffs NJ, Prentice-Hall. Récupéré à l'adresse : https://www.princeton.edu/~kahneman/docs/attention_and_effort/Attention_lo_quality.pdf
- Keall, M.D., Frith, W.J. et Patterson, T.L. (2004). The influence of alcohol, age and number of passengers on the night-time risk of driver fatal injury in New Zealand. *Accident Analysis & Prevention*, 36 (1), 49-61. DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00114-8
- Kelley-Baker, T., Lacey, J.H., Voas, R.B., Romano, E., Yao, J. et Berning, A. (2013). Drinking and driving in the United States: Comparing results from the 2007 and 1996 National Roadside Surveys. *Traffic Injury Prevention*, 14 (2), 117-126. DOI: 10.1080/15389588.2012.697229
- Koelaga, H.S. (1995). Alcohol and vigilance performance : a review. *Psychopharmacology*, 118, 233-249.
- Konstanpopoulos, P., Chapman, P. et Crundall, D. (2010). Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (3), 827–834. DOI : 10.1016/j.aap.2009.09.022

- Kouabenan, D.R., Cadet, B., Hermand, D. et Munoz Sastre, M.T. (2006). *Psychologie du risque. Identifier, évaluer, prévenir*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Koustanai, A. (2005). *Le rôle de la conscience de la situation dans les accidents de la route et la production d'erreurs de conduite*. (Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, France).
- Koustanai, A. et Aillerie, I. (2004). Situational awareness and identifying dangerous situations on driving simulator. Dans *Proceedings of Driving Simulation Conference*, 355-363. Paris, France.
- King, Y. et Parker, D. (2008). Driving violations, aggression and perceived consensus. *European Review of Applied Psychology*, 58 (1), 43-49. DOI:10.1016/j.erap.2006.05.001
- Laapotti, S.E., Keskinen, E., Hattaka, M. et Katila, A. (2001). Novice driver's accidents and violations: A failure on higher or lower hierarchical levels of driving behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 33 (6), 759-769. DOI : 10.1016/S0001-4575(00)00090-7
- LaBerge, D. (1995). *Attentional Processing: The Brain's Art of Mindfulness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- LaBerge, D., Auclair, L., et Sieroff, E. (2000). Preparatory attention: experiment and theory. *Consciousness & Cognition*, 9 (3), 396-434.
- Laberge-Nadeau, C., Maag, U. et Bourbeau, R. (1992). The effect of age and experience on accidents with injuries : Should the licensing age be raised? *Accident Analysis & Prevention*, 24 (2), 107-116. DOI : 10.1016/0001-4575(92)90027-G.
- Laapotti, S. (2003). *What are young female drivers made of? Differences in attitudes, exposure, offences and accidents between young female and male drivers*. (Thèse de doctorat, Université de Turku, Finlande).
- Lajunen, T., Parker, D., & Summala, H. (2004). The Manchester Driver Behaviour Questionnaire: a cross-cultural study. *Accident Analysis & Prevention*, 36 (2), 231-238. DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00152-5
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M. et Summala, H. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis & Prevention*, 31 (6), 617-623. DOI : 10.1016/S0001-4575(99)00018-4.
- Larue, G.S., Rakotonirainy, A. et Pettitt, A.N. (2011). Driving performance impairments due to hypovigilance on monotonous roads. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (6), 2037-2046. DOI : 10.1016/j.aap.2011.05.023
- Lee, J.D., Caven, B., Haake, S. et Brown, T.L. (2001). Speech-based interactions with in-vehicle computers: the effect of speech-based e-mail on drivers' attention to the roadway. *Human Factors*, 43 (4), 631-640.
- Lemercier, C. et Cellier, J.M. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile : inattention, distraction et interférence. *Le Travail Humain*, 71 (3), 271-296. Récupéré sur le site : <http://ipmsh.achanez.ep.profweb.qc.ca/wp-content/uploads/2009/01/lemercier.pdf>
- Leplat, J. (2003). Questions autour de la notion de risqué. Dans Kouabenan, D.R. et Dubois, M. (Eds). *Les risques professionnels : évolution des approches, nouvelles perspectives* (pp. 37-52). Toulouse : Octarès.
- Lestina, D. C., et Miller, T. R. (1994). Characteristics of crash-involved younger drivers. Paper presented at the 38th *Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine*.
- Leung, S., Croft, R.J., Jackson, M.L., Howard, M.E. et McKenzie, R.J. (2012). A comparison of the effect of mobile phone use and alcohol consumption on driving simulation performance. *Traffic Injury Prevention*, 13 (6), 566-574. DOI : 10.1080/15389588.2012.683118
- Leung, S. et Starmer, G. (2005). Gap acceptance and risk-taking by young and mature drivers, both sober and alcohol-intoxicated, in a simulated driving task. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (6), 1056-1065. DOI : 10.1016/j.aap.2005.06.004
- Lewis-Evans, B., de Waard, D., Brookhuis, K.A. (2011). Speed maintenance under cognitive load – Implications for theories of driver behaviour. *Accident Analysis & Prevention* 43 (4), 1497-1507. DOI : 10.1016/j.aap.2011.02.030
- Lezak, M.D. (1995). *Neuropsychological assessment* (3rd ed) Oxford University Press, New York.
- Linnoila, M., Erwin, C.V., Ramm, D. et Cleveland, W.P. (1980). Effect of age and alcohol on psychomotor performance of men. *Journal of Studies on Alcohol*, 41 (5), 488-495.
- Liu, Y.C. et Ou, Y.K. (2011). Effects of age and the use of hands-free cellular phones on driving behavior and task performance. *Traffic Injury Prevention*, 12 (6), 550-558. DOI: 10.1080/15389588.2011.607197

- Lyvers, M. et Tobias-Webb, J. (2010). Effects of acute alcohol consumption on executive functioning in naturalistic settings. *Addictive Behaviors*, 35 (11), 1021-1028. DOI : 10.1016/j.addbeh.2010.06.022
- Mann, R.E., Vingilis, E.R., Gavin, D., Adlaf, E. et Anglin, L. (1991). Sentence severity and the drinking driver: relationships with traffic safety outcome. *Accident Analysis & Prevention*, 23 (6), 483-491. DOI : 10.1016/0001-4575(91)90014-V
- Marek, J. et Sten, T. (1997). *Traffic environment and the driver. Driver behavior and training in international perspective*. Springfield: Charles C. Thomas Publisher.
- Maycock, G. (2002). *Estimating the Effects of Age and Experience on Accident Liability Using Stats19 Data*. Behavioural Research in Road Safety XII, Department for Transport, Londres.
- Mayhew, D.R. et Simpson, H.M. (1995) *The role of driving experience: Implications for the training and licensing of new drivers*. Toronto, ON: Insurance Bureau of Canada.
- Mayhew, D.R., Simpson, H.M. et Pak, A. (2003). Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (5), 683–691. DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00047-7
- Mazeau, M. (2003). *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*. Paris, Masson.
- Mc Cartt, A.T., Mayhew, D.R., Braitman, K.A., Ferguson, S.A. et Simpson, H.M. (2009). Effects of age and experience on young driver crashes: review of recent literature. *Traffic Injury Prevention*, 10 (3), 209–219.
- McCartt, A.T., Shabanova, V.I. et Leaf, W.A. (2003). Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (3), 311–320. DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00006-4
- McDonald, W. A. (1994). *Young driver research program. A review of information on young driver performance characteristics and capacities*: Monash University. Accident Research Centre. Récupéré sur le site : <http://www.monash.edu.au/miri/research/reports/atsb129.pdf>
- McDowell, S., Whyte, J., et D'Esposito, M. (1997). Working memory impairments in traumatic brain injury : Evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychologia*, 35 (10), 1341-1353. DOI : 10.1016/S0028-3932(97)00082-1
- McKeever, J.D., Schultheis, M.T., Padmanaban, V. et Blasco, A. (2013). Driver performance while texting: even a little is too much. *Traffic Injury Prevention*, 14 (2), 132-137. DOI : 10.1080/15389588.2012.699695
- McKenna, F.P. et Crick, J. (1991). Experience and expertise in hazard perception. Dans G.B. Grayson et J.F. Lester (Eds.). *Behavioral Research in Road Safety* (p. 39–45). Crowthorne, UK: Transport and Road Research Laboratory.
- Metz, B., Schömig, N. et Krüger, H.P. (2011). Attention during visual secondary tasks in driving: Adaptation to the demands of the driving task. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (5), 369-380.
- Michel, G., Purper-Ouakil, D. et Mouren-Siméoni, M.C. (2002). Prises de risque chez les jeunes. Les conduites dangereuses en véhicules motorisés. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 50 (8), 583–589. DOI : 10.1016/S0222-9617(02)00166-6
- Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans et R. C. Schwing (Eds.). *Human behavior and traffic safety*, (p. 485-520). New York: Plenum Press.
- Mills, K.C., Spruill, S.E., Kanne, R.W., Parkman, K.M. et Zhang, Y. (2001). The influence of stimulants, sedatives, and fatigue on tunnel vision: risk factors for driving and piloting. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43 (2), 310-327.
- Mitsopoulos-Rubens, E., Triggs, T. et Regan, M. (2007). Examining young novice driver headway choice in a simulated car following task. Dans *Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Récupéré sur le site : http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2007/PDF/090_MitsopoulosRubens.pdf
- Moore, S. et Parson, J. (2000). A research agenda for adolescent risk-taking: where do we go from here? *Journal of Adolescence*, 23 (4), 371–376. DOI : 10.1006/jado.2000.0325
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11 (1), 56-60. DOI:10.1080/17470215908416289
- Morland, J., Steentoft, A., Wiese Simonsen, K., Ojanpera, I., Vuori, E., Magnusdottir, K., Kristinsson, J., Ceder, G., Kronstrand, R. et Christophersen, A. (2011). Drugs related to motor vehicle crashes in northern European countries : A study of fatally injured drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (6), 1920-1926. DOI : 10.1016/j.aap.2011.05.002

- Moskowitz, H., et Burns, M. (1990). Effects of alcohol on driving performance. *Alcohol Health & Research World*, 14 (1), 12-14.
- Moskowitz, H., Burns, M., Fiorentino, D., Smiley, A. et Zador, P. (2000). *Driver characteristics and impairment at various BACs*. U.S. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C.
- Moskowitz, H. et Fiorentino, D. (2000). *A review of the scientific literature regarding the effects of alcohol on driving-related behavior at blood alcohol concentrations of 0.08grams per deciliter and lower*. (Rapport final. U.S. Department of Transportation). National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C.
- Moskowitz, H. et Robinson, C.D. (1988). *Effects of low doses of alcohol on driving-related skills: A review of the evidence*. (Rapport n° DOT HS 807 280). U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- Moskowitz, H. et Roth, S. (1971). Effect of alcohol on response latency in object naming. *Quarterly Journal of Studies on Alcohol*, 32 (4), 969-975.
- Mourant, R.R. et Rockwell, T.H. (1972). Stratégies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14 (4), 325-335. Récupéré sur le site : <http://www1.coe.neu.edu/~mourant/pubs2/mourant1972.pdf>
- Movig, K.L., Mathijssen, M.P., Nagel, P.H., Van Egmond, T., DeGier, J.J., Leufkens, H.G. et Egberts, A.C. (2004). Psychoactive substance use and the risk of motor vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 36 (4), 631-636. DOI : 10.1016/S0001-4575(03)00084-8
- Mura, P., Kintz, P., Ludes, B., Gaulier, J.M., Marquet, P., Martin-Dupont, S., Vincent, F., Kaddour, A., Goullé, J.P., Nouveau, J., Moulisma, M., Tilhet-Coartet, S., Pourrat, O. (2003). Comparison of the prevalence of alcohol, cannabis and other drugs between 900 injured drivers and 900 control subjects: results of a French collaborative study. *Forensic Science International*, 133 (1-2), 79-85. DOI : 10.1016/S0379-0738(03)00052-5
- Murray, A. (1998). The home and school background of young drivers involved in traffic accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 30 (2), 169-182. DOI : 10.1016/S0001-4575(97)00088-2
- Neboit, M. (1982). L'exploration visuelle du conducteur : rôle de l'apprentissage et de l'expérience. *Cahier d'Etudes de l'Organisme National de Sécurité Routière*. Récupéré sur le site : http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/temis/15062/15062_56.pdf
- Norman, D.A. et Bobrow, D.G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64. DOI : 10.1016/0010-0285(75)90004-3
- Norman, D. A. (1968). "Toward a theory of memory and attention". *Psychological Review*, 75 (6): 522-536. DOI : 10.1037/h0026699
- Norman, D.A. et Shallice, T. (1980). *Attention to action: Willed and automatic control of behaviour*. (Rapport n° 99), University of California, San Diego, CA.
- Norman, W. et Shallice, T. (1986). Attention to action. Dans R.J., Davidson, G.E., Schwartz, D, Shapiro, (Eds). *Consciousness and self-regulation : Advances in research and theory*, vol.4. New York : Plenum, p. 1-18.
- Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière – *Bilan de l'accidentalité de l'année 2012*. Récupéré sur le site : <http://www.securite-routiere.gouv.fr/la-securite-routiere/l-observatoire-national-interministeriel-de-la-securite-routiere/bilans-annuels/bilan-annuel-de-la-securite-routiere-en-france>
- OCDE – ECMT (2006). *Young drivers : The road to safety*. Paris: OCDE – Organisation for Economic Cooperation and Development et ECMT – European Conference of Ministers of Transport; Joint OCDE /ECMT Transport Research Centre.
- Ogden, E. J. et Moskowitz, H. (2004). Effects of alcohol and other drugs on driver performance. *Traffic Injury Prevention*, 5 (3), 185-198.
- Owsley, C. et Mc Gwin, Jr. (2010). Vision and driving. *Vision Research* 50 (23), 2348-2361. DOI : 10.1016/j.visres.2010.05.021
- Ozkan, T. et Lajunen, T. (2005a). Why are there sex differences in risky driving? The relationship between sex and gender-role on aggressive driving, traffic offences, and accident involvement among young Turkish drivers. *Aggressive Behavior*, 31 (6), 547-558.
- Özkan, T. et Lajunen, T. (2005b). Multidimensional traffic locus of control scale (T-LOC): factor structure and relationship to risky driving. *Personality and individual differences*, 38 (3), 533-545. DOI:10.1016/j.paid.2004.05.007

- Özkan, T., Lajunen, T., El Chliaoutakis, J., Parker, D. et Summala, H. (2006a). Crosscultural differences in driving behaviours: A comparison of six countries. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 9 (3), 227–242. DOI:10.1016/j.trf.2006.01.002
- Özkan, T., Lajunen, T. et Summala, H. (2006b). Driver Behaviour Questionnaire: A followup study. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (2), 386–395. DOI : 10.1016/j.aap.2005.10.012
- Ozmen, O. et Sumer, Z.H. (2011). Predictors of risk-taking behaviors among Turkish adolescents. *Personality and Individual Differences*, 50 (1), 4-9. DOI : 10.1016/j.paid.2010.07.015
- Page, Y., Ouimet, M.C. et Cuny, S. (2004). *Estimation du risque relatif d'implication accidentelle des jeunes conducteurs ayant suivi l'Apprentissage Anticipé de la Conduite. (Rapport final)*. Nanterre, France: CEESAR - Fondation MAIF; 2004. Récupéré sur le site : http://www.fondation-maif.fr/fondation/ressources/pdf/AAC_rf-.pdf
- Palamara, P. et Stevenson, R.M. (2000). *Risk factors associated with speeding offences among young Western Australian drivers*. Road Safety Research, Policing and Education Conference, Brisbane.
- Parker, D., West, R., Stradling, S. et Manstead, A.S.R. (1995). Behavioural characteristics and involvement in different types of traffic accident. *Accident Analysis & Prevention*, 27 (4), 571–581. DOI : 10.1016/0001-4575(95)00005-K
- Parker, D., McDonald, L., Rabbitt, P. et Sutcliffe, P. (2000). Elderly drivers and their accidents: The Aging Driver Questionnaire. *Accident Analysis & Prevention*, 32 (6), 751–759. DOI : 10.1016/S0001-4575(99)00125-6
- Patten, C.J.D., Kircher, A., Ostlund, J., Nillson, L. et Svenson, O. (2006). Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (5), 887–894. DOI : 10.1016/j.aap.2006.02.014
- Paul, S.T., Kellas, G., Martin, M. et Clark, M.B. (1992). Influence of contextual features on the activation of ambiguous word meanings. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18 (4), 703-717.
- Paxion, J., Berthelon, C. et Galy, E. (2013). Does driving experience delay overload threshold as a function of situation complexity ? Dans L.Dorn & M. Sullman (Eds), *Driver Behaviour and Training, Volume VI* (p. 13-23). England : Ashgate Publishing.
- Peck, R.C., Gebers, M.A., Voas, R.B. et Romano, E. (2008). The relationship between blood alcohol concentration (BAC), age, and crash risk. *Journal of Safety Research*, 39 (3), 311-319. DOI : 10.1016/j.jsr.2008.02.030
- Pereira, M., Hamama, H., Bruyas M. P. et Simões, A. (2008). Effect of Additional Task in Driving Performance: Comparison among three groups of drivers. Dans C. Brusque, (Ed.) *Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, HUMANIST Publications.
- Phillips, D.P. et Brewer, K.M. (2011). The relationship between serious injury and blood alcohol concentration (BAC) in fatal motor vehicle accidents: BAC = 0.01% is associated with significantly more dangerous accidents than BAC = 0.00%. *Addiction*, 106 (9), 1614-1622. DOI: 10.1111/j.1360-0443.2011.03472.x
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. -Y., et Podsakoff, N.P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88 (5), 879–903.
- Pollet, R. (1995). *Apprentissage anticipé de la conduite*, Paris : FFSA/APSAD/Direction automobile.
- Posner, M. et Snyder, C.R.R. (1975). Facilitation and inhibition in the processing of signals. Dans Rabbitt, P.M.A. et Dornic, S. (Eds.), *Attention and performance V*. New York: Academic Press.
- Pradhan, A.K., Divekar, G., Masserang, K., Romoser, M., Zafian, T., Blomberg, R.D., Thomas, F.D., Reagan, I., Knodler, M., Pollatsek, A. et Fisher, D.L. (2011). The effects of focused attention training on the duration of novice drivers' glances inside the vehicle. *Ergonomics*, 54 (10), 917-931. DOI:10.1080/00140139.2011.607245
- Quimby, A. R. et Watts, G.R. (1981). *Human factor and driver performance*. (Rapport n°1004).Crowthorne, Angleterre : Transport and Road Research Laboratory.
- Quimby, A.R., Maycock, G., Carter, I.D., Dixon, R. et Wall, J.G. (1984). *Perceptual abilities of accident involved drivers* (Rapport n°27). Berkshire, England: Transport and Road Research Laboratory.
- Rakauskas, M.E., Ward, N.J., Boer, E.R., Bernat, E.M., Cadwallader, M. et Patrick, C.J. (2008). Combined effects of alcohol and distraction on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (5), 1742-1749. DOI : 10.1016/j.aap.2008.06.009

- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13 (3), 257–266. DOI : [10.1109/TSMC.1983.6313160](https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160)
- Rasmussen, J. (1986). A framework for cognitive task analysis in systems design. Dans Hollnagel, E., Mancini, G., Woods, D.D. (Eds.), *Intelligent decision support in process environments*. Berlin : Springer Verlag.
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J. et Cambell, K. (1990). Errors and violations on the road: a real distinction? *Ergonomics*, 33 (10-11), 1315–1332. DOI : [10.1080/00140139008925335](https://doi.org/10.1080/00140139008925335).
- Reason (2013). *L'erreur humaine*. Paris : Presse des Mines.
- Recarte, M.A., Nunes, L., 2003. Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination and decision making. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9 (2), 119–137. DOI : [10.1037/1076-898X.9.2.119](https://doi.org/10.1037/1076-898X.9.2.119)
- Rensink, R.A., O'Regan, J.K. et Clark, J.J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8 (5), 368-373. Récupéré à l'adresse : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.1875&rep=rep1&type=pdf>
- Richard, J. F. (1980). *L'attention*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Richard, J.F. (1990). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : A. Colin.
- Richard, J.B., Beck, F. et Spilka, S. (2013)., La consommation d'alcool des 18-25 ans en 2010, *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire* (16-17-18) (7 mai 2013), 176-180.
- Rimmo, P.A. et Aberg, L. (1999). On the distinction between violations and errors: sensation seeking associations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2 (3), 151-166. DOI : [10.1016/S1369-8478\(99\)00013-3](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(99)00013-3)
- Rimmö, P.A. et Hakamies-Blomqvist, L. (2002). Older drivers' aberrant driving behaviour, impaired activity, and health as reasons for self-imposed driving limitations. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 5 (1), 47-62. DOI : [10.1016/S1369-8478\(02\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00005-0)
- Rothery, R. W. (1992). Car following models. *Trac Flow Theory*. Récupéré à l'adresse : <https://www.tfrc.gov/publications/research/operations/tft/chap4.pdf>
- Rossello, J., Munar, E., Justo, S., et Arias, R. (1999). Effects of alcohol on divided attention and on accuracy of attentional shift. *Psychology in Spain*, 3 (1), 66-74. Récupéré à l'adresse : <http://www.psychologyinspain.com/content/full/1999/7frame.htm>
- Roulin., J.L. (1998). *Psychologie cognitive*. Paris : Eds Grand Amphi.,
- Rousseaux, M., Godefroy, O., Cabaret, M., Benaim, C., et Pruvo, J.P. (1996). Analyse et évolution des déficits cognitifs après rupture des anévrismes de l'artère communicante antérieure. *Revue Neurologique*, 152, 517-527.
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: Late detection. Commission of the European
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: Late detection. Commission of the European Communities Workshop: Errors in the operation of transport systems (1989, Cambridge, England). *Ergonomics*, 33 (10-11), 1281-1290
- Sagberg, F. (2000), *Evaluation of the 16-years Age Limit for Practicing with Private Car: Accident Risk After the Driver's Test* (en Norvégien). (Rapport n° 498). Transportøkonomisk institutt (TØI), Oslo.
- Sagberg, F. et Bjornskau, T. (2006). Hazard perception and driving experience among novice drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (2), 407–414. DOI : [10.1016/j.aap.2005.10.014](https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.10.014)
- Schnabel, E., Hargutt, V. et Kruger, H.P. (2010). *Meta-analysis of empirical studies concerning the effects of alcohol on safe driving*. Deliverable D 1.1.2a. Driving Under the Influence of Drugs (DRUID), Alcohol and Medicines. Récupéré sur le site : http://www.druid-project.eu/Druid/EN/deliverables-list/downloads/Deliverable_1_1_2.pdf?__blob=publicationFile
- Schneider., W. et Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing. I Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66. DOI : [10.1037/0033-295X.84.1.1](https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1)
- Schuckit, M.A. (2009). Alcohol-use disorders. *Lancet*, 379, 492-501.
- Schweizer, T.A. et Vogel-Sprott, M. (2008). Alcohol-impaired speed and accuracy of cognitive functions : a review of acute tolerance and recovery of cognitive performance. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 16 (3), 240-250. DOI : [10.1037/1064-1297.16.3.240](https://doi.org/10.1037/1064-1297.16.3.240)

- Schweizer, T.A., Vogel-Sprott, M., Danckert, J., Roy, E.A., Skakum, A., et Broderick, C.E. (2006). Neuropsychological profile of acute alcohol intoxication during ascending and descending blood alcohol concentrations. *Neuropsychopharmacology*, *31*, 1301–1309.
- Schweizer, T.A. et Vogel-Sprott, M., Dixon, M.J., Jolicoeur, P. (2005). The stage-specific effect of alcohol on human information processing. *Psychopharmacology*, *178*, 52-57. DOI : 10.1007/s00213-004-1972-x
- Scialfa, C.T., Deschênes, M.C., Ference, J., Boone, J., Horswill, M.S. et Wetton, M. (2011). A hazard perception test for novice drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *43* (1), 204–208. DOI : 10.1016/j.aap.2010.08.010.
- Shinar, D. (2007). *Traffic safety and human behavior*. Oxford, England: Elsevier.
- Shinar, D. (2008). Looks are (almost) everything : where drivers look to get information. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *50* (3), 380-384. DOI : 10.1518/001872008X250647
- Shinar, D., Meir, M. et Ben-Shoham, I. (1998). How Automatic is Manual Gear Shifting? *Human Factors*, *40* (4), 647–654.
- Shinar, D., Tractinsky, N. et Compton, R. (2005). Effects of practice, age, and task demands, on interference from a phone task while driving. *Accident Analysis & Prevention* *37* (2), 315–326. DOI : 10.1016/j.aap.2004.09.007
- Shinoda, H., Hayhoe, M.M. et Shrivastava, A. (2001). What controls attention in natural environments. *Vision Research*, *41*, 3535–3545. DOI : 10.1016/S0042-6989(01)00199-7
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: is it indeed 90% visual? *Perception*. *25*(9), 1081-1089. DOI :10.1068/p251081
- Skurtveit, S., Christophersen, A.S., Grung, M., et Morland, J. (2002). Increased mortality among previously apprehended drunken and drugged drivers. *Drug Alcohol Dependence*, *68*, 143-150. DOI : 10.1016/S0376-8716(02)00185-0
- Slootmans, F., Dupont, E. et Silverans, P. (2011). *Risques pour les jeunes conducteurs dans la circulation. Analyse des facteurs de risque pour le conducteur de 18 à 24 ans sur la base d'une enquête concernant leur implication dans les accidents*. Institut Belge pour la Sécurité Routière. Centre de connaissances – Bruxelles, Belgique. Récupéré à l'adresse : <http://ibsr.be/frontend/files/userfiles/files/risques-jeunes-conducteurs-enquete.pdf>
- Smart, D., Vassallo, S. (2005). *In the driver's seat: Understanding young adult's driving behaviour* (Rapport de recherche n°12). Australian Institute of Family Studies, Melbourne : Victoria.
- Stinchcombe, A., Gagnon, S., Jane Zhang, J., Montembeault, P. et Bedard, M. (2011). Fluctuating attentional demand in a simulated driving assessment: the roles of age and driving complexity. *Traffic Injury Prevention*, *12* (6), 576-587. DOI :10.1080/15389588.2011.607479
- Strayer, D.L., Drews, F.A., Albert, R.W. et Johnston, W. A. (2001). Cell phone induced perceptual impairments during simulated driving. Dans *Proceedings of the International Driving Symposium on the Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*.
- Strayer, D.L., Drews, F.A. et Crouch, D.J. (2006). A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Human Factors*, *48* (2), 381-391. Récupéré à l'adresse : <http://www.distraction.gov/download/research-pdf/comparison-of-cellphone-driver-drunk-driver.pdf>
- Strayer, D., Drews, F.A. et Johnston, W.A. (2003). Cell phone induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *9* (1), 23–32. Récupéré à l'adresse : http://www.distraction.gov/download/research-pdf/failures_of_visual_attention.pdf
- Strayer, D.L. et Drews, F.A. (2007). Cell-phone induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, *16* (3), 128-131. DOI : 10.1111/j.1467-8721.2007.00489.x
- Summala, H. (1987). Young driver accidents: Risk taking or failure of skills? *Alcohol, Drugs and Driving*, *3* (3-4), 79-91.
- Thorpe, S.J., Gegenfurtner, K., Fabre-Thorpe, M. et Bülthoff, H.H. (2001). Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *European Journal of Neuroscience*, *14* (5), 869-876. DOI :10.1046/j.0953-816x.2001.01717.x.
- Tiplady, B., Degia, A. et Dixon, P. (2005). Assessment of driver impairment: Evaluation of a two-choice tester using ethanol. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *8* (4-5), 299-310. DOI : 10.1016/j.trf.2005.04.013

Tom, A., Auberlet, J.M., Brémond, R. (2008). Approche psychologique de l'activité de traversée de piétons. Implications pour la simulation. *Recherche Transport Sécurité*, 101, 265-279. Récupéré à l'adresse : http://perso.lpcp.fr/roland.bremond/documents/RTS08_Tom.pdf

Torres, S. et Gauthier, P. (2001). *Les formes d'accès aux permis de conduire et leurs enjeux pour la sécurité routière – Etude comparative entre le Grand Sud Ouest et la province du Québec*. (Rapport final). Bureau d'étude sociologique. Récupéré à l'adresse : http://www.fondation-maif.fr/fondation/ressources/pdf/torres-aac_rf.pdf

Torres, S. et Gauthier, P. (2005). *Situations routières défaillantes et formation à la conduite*. (Rapport d'étude). Bureau d'étude sociologique. Récupéré à l'adresse : http://www.fondation-maif.fr/fondation/ressources/pdf/torres-2_rf.pdf

Trankle, U., Gelau, C., et Metker, T. (1990). Risk perception and age-specific accidents of young drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 22 (2), 119–125. DOI : 10.1016/0001-4575(90)90063-Q

Treisman, A.M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, 76 (3), 282-299. DOI : 10.1037/h0027242

Tronsmoen, T. (2008). Associations between self-assessment of driving ability, driver training and crash involvement among young drivers. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 11 (5), 334–346. DOI : 10.1016/j.trf.2008.02.002

Tronsmoen, T. (2010). Associations between driver training, determinants of risky driving behaviour and crash involvement. *Safety Science*, 48 (1), 35–45. DOI : 10.1016/j.ssci.2009.05.001

Ulleberg, P. et Rundmo, T. (2003). Personality, Attitudes and Risk Perception as Predictors of Risky Driving Behaviour Among Young Drivers. *Safety Science*, 41 (5), 427–443. DOI : 10.1016/S0925-7535(01)00077-7

Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K. et Crundall, D. (2002). Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 5 (2), 87-97. DOI : 10.1016/S1369-8478(02)00008-6

Underwood, G. (2007). Visual attention and the transition from novice to advanced driver. *Ergonomics*, 50 (8), 1235-1249. Récupéré à l'adresse : http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/gju/Underwood_Papers/Ergonomics.2007.pdf

Van Elslande, P. (2003). Erreurs de conduite et besoins d'aide : une approche accidentologique en ergonomie. *Le Travail Humain*, 66, 197-22. DOI : 10.3917/th.663.0197

Van Horn, J.D., Yanos, M., Schmitt, P.J., Grafton, S.T. (2006). Alcohol induced suppression of BOLD activity during goal-directed visuomotor performance. *Neuroimage*, 31 (3), 1209-1221. Récupéré à l'adresse : http://freylab.missouri.edu/boat_notes/Van_Horn_Neuroimage_2006.pdf

Van Winsum, W., Brouwer, W.H. (1997). Time-headway in car-following and operational performance during unexpected braking. *Perceptual and motor skills*, 84 (3), 1247-1257.

Van Zomeren, A.H. et Van den Burg, W. (1985). Residual complaints of patients two years after severe head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 48 (1), 21-28. DOI : 10.1136/jnnp.48.1.21

Veldstra, J.L., Brookhuis, K.A., De Waard, D., Molmans, B.H.W., Verstraete, A.G., Skopp, G., et Jantos, R. (2011). Effects of alcohol (BAC 0.5‰) and ecstasy (MDMA 100 mg) on simulated driving performance and traffic safety. *Psychopharmacology*, 222, 377-390. DOI 10.1007/s00213-011-2537-4. Récupéré à l'adresse : http://download.springer.com/static/pdf/156/art%253A10.1007%252Fs00213-011-2537-4.pdf?auth66=1400676314_cfa5b2ca31823163f374714ed5de45b0&ext=.pdf

Vengeliene, V., Bilbao, A., Molander, A., Spanagel, R. (2008). Neuropharmacology of alcohol addiction. *Brain Journal Pharmacology*, 154 (2), 299-315. DOI : 10.1038/bjp.2008.30

Verster, J.C., Wester, A.E., Goorden, M., van Wieringen, J-P., Olivier, B. et Volkerts, E.R. (2009). Novice drivers' performance after different alcohol dosages and placebo in the divided-attention steering simulator (DASS). *Psychopharmacology*, 204 (1), 127-133. DOI 10.1007/s00213-008-1443-x.

Villame, T. (2004). Conception de systèmes d'assistance au conducteur : comment prendre en compte le caractère complexe, dynamique et situé de la conduite automobile ? Cognition située et conception de systèmes d'assistance au conducteur, *@ctivités*, 1 (2), 146-169. Récupéré à l'adresse : <http://www.activites.org/v1n2/villame.pdf>

Wahlberg, A.E. (2010). Social desirability effects in driver behaviour inventories. *Journal of Safety Research*, 41 (2), 99-106. DOI : 10.1016/j.jsr.2010.02.005

- Wahlberg, A.E., Dorn, L. et Kline, T. (2011). The Manchester Driving Behaviour Questionnaire as a predictor of road traffic accidents. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 12 (1), 66-86. Récupéré à l'adresse : <http://eprints.qut.edu.au/49727/2/49727a.pdf>
- Wang, J., Lu, X., Xiao, Q. et Lu, M. (2011). Comparison of driver classification based on subjective evaluation and objective experiment. Dans *Proceedings of TRB Annual Meeting*, Washington, D.C.
- Wang, Y., Reimer, B., Mehler, B., Zhang, J., Mehler, A. et Coughlin, J.F. (2010). The impact of repeated cognitive tasks on driving performance and visual attention. *Proceeding of the 3rd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, July 17-20 2010, Miami, Florida, USA.
- Weissenborn, R. et Duka, T. (2003). Acute alcohol effects on cognitive function in social drinkers: their relationship to drinking habits. *Psychopharmacology*, 165 (3), 306-312.
- Wells, P., Tong, S., Sexton, B., Grayson, G. et Jones, E. (2008). *Cohort II: A study of learner and new drivers*. (Rapport n°81). London: Department for Transport. Récupéré à l'adresse : <http://www.dft.gov.uk/rmd/project.asp?intProjectID=10067>
- West, R., Wilding, J., French, D., Kemp, R. et Irving, A. (1993). Effect of low and moderate doses of alcohol on driving hazard perception latency and driving speed. *Addiction*, 88 (4), 527-532. DOI : 10.1111/j.1360-0443.1993.tb02059.x
- White, M.J., Cunningham, L.C. et Titchener, K. (2011). Young drivers' optimism bias for accident risk and driving skill: Accountability and insight experience manipulations. *Accident Analysis & Prevention* 43 (4), 1309-1315. DOI : 10.1016/j.aap.2011.01.013
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. Dans Parasuraman, R. et Davies, D.R. (Eds), *Varieties of attention*. New York : Academic Press.
- Wickens., D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Sciences*, 3 (2), 159-177. Récupéré à l'adresse : http://hci.rwth-aachen.de/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=51
- Wickens, D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50 (3), 449-455. DOI 10.1518/001872008X288394.
- Wikman, A.S., Nieminen, T. et Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in car tasks on roads of different width. *Ergonomics*, 41 (3), 358-372.
- Williams, A.F. et Shabanova, V.I. (2003). Responsibility of drivers, by age and gender, for motor-vehicle crash deaths. *Journal of Safety Research*, 34 (5), 527-531. DOI : 10.1016/j.jsr.2003.03.001
- Williams, A.F., West, B.A. et Shults, R.A. (2012). Fatal crashes of the 16 to 17 year old drivers involving alcohol, nighttime driving and passengers. *Traffic Injury Prevention*, 13 (1), 37-41. doi: 10.1080/15389588.2011.633235.
- Williams, A.F. (1998). Risky driving behavior among adolescents. Dans Jessor, R. (Ed.). *New Perspectives on Adolescent Risk Behavior*. Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- Williams, L.J. (1995): Peripheral Target Recognition and Visual Field Narrowing in Aviators and Nonaviators. *The International Journal of Aviation Psychology*, 5 (2), 215-232. DOI: 10.1207/s15327108ijap0502_6
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9 (4), 625-636. Récupéré à l'adresse : http://l3d.cs.colorado.edu/~ctg/classes/cogsci12/rdg/Wilson_Embodied_Cog.pdf
- Yan, X., Abdel-Aty, M., Radwan, E., Wang, X., et Chilakapati, P. (2008). Validating a driving simulator using surrogate safety measures. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (1), 274-288. DOI : 10.1016/j.aap.2007.06.007
- Young, K. et Regan, M. (2007). Driver distraction: A review of the literature. Dans Faulks, I.J., Regan, M., Stevenson, M., Brown, J., Porter, A. et Irwin, J.D. (Eds.). *Distracted driving* (pp 379-405). Sydney, NSW: Australasian College of Road Safety. Récupéré à l'adresse : <http://www.erskine-mcmahon.com/files/cell.phone.driving.distraction.article.10.pdf>
- Zador, P. L., Krawchuk, S. A., et Voas, R. B. (2000). Alcohol-related relative risk of driver fatalities and driver involvement in fatal crashes in relation to driver age and gender: An update using 1996 data. *Journal of Studies on Alcohol*, 61 (3), 387-395.
- Zivkovic, V., Nikolic, S., Lukic, C., Zivadinovic, N., et Babic, D. (2013). The effects of new traffic safety law in the Republic of Serbia on driving under the influence of alcohol. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 161-165. DOI : 10.1016/j.aap.2013.01.012

5. ANNEXES

Annexe 1 . Graphique des valeurs propres de l'expérience 1

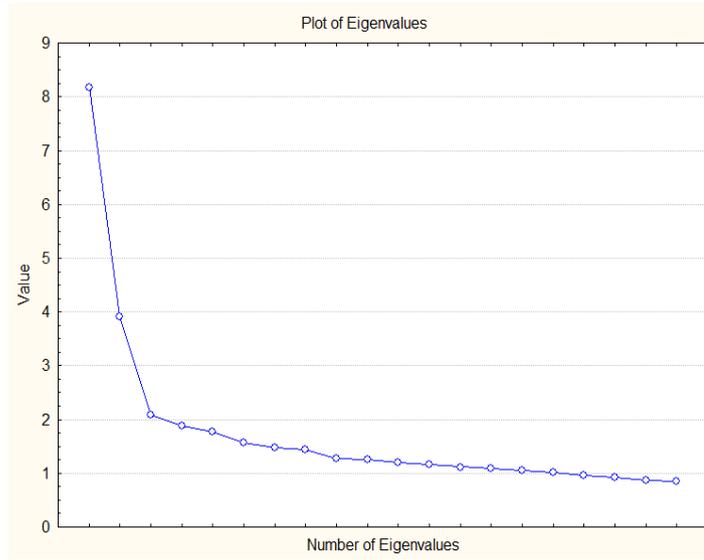


Fig. Graphique des valeurs propres de l'expérience 1

Annexe 2 . DBQ

Version Française du Driving Behaviour Questionnaire (DBQ).

Ce questionnaire a été traduit par deux chercheurs francophones du domaine de la psychologie de la conduite. Une vérification de la traduction a été assurée par un anglophone qui a réalisé une rétro-traduction. Les indications de direction ont été inversées du fait de la conduite à droite en France. La question DBQ 22 a été modifiée par rapport à la version anglaise car en France le renouvellement de notre assurance est automatique la question original était « Forget when your road tax/insurance expires and discover that you are driving illegally ».

Référence : Gabaude, C., Marquié, J., & Obriot-Claudel, F. (2010). Self-regulatory behaviour in the elderly: relationship with aberrant driving behaviours and perceived abilities. *Le Travail Humain*, 73(1), 31-62.

COMPORTEMENTS DE CONDUITE

Personne n'est parfait. Même les meilleurs conducteurs font des erreurs, des bêtises ou s'arrangent parfois avec les règles. Certains de ces comportements sont banals, mais certains peuvent être potentiellement dangereux.

Pour chacune des questions suivantes, nous vous demandons d'indiquer la fréquence à laquelle vous avez eu ce type de comportement. Basez votre jugement sur ce que vous vous rappelez de votre conduite depuis une année. Vous devez pour cela cocher la case correspondante.

Vous ne pourrez, bien entendu, pas donner de réponse précise : seules vos impressions générales nous intéressent. Ne passez donc pas trop de temps à réfléchir à chaque question. Donnez simplement votre impression aussi rapidement que possible en cochant la case qui vous paraît la plus appropriée. Si vous changez d'avis après avoir répondu, grisez simplement votre première réponse, et cochez une autre case.

Lorsque vous aurez terminé, veuillez vérifier que vous avez bien traité chaque question. Nous vous demandons d'être aussi honnête que possible. Vos réponses sont anonymes.

Depuis une année, à quelle fréquence avez-vous eu ces comportements ? Cochez la case correspondante :

1. Vous essayez de démarrer au feu en 3^{ème} :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

2. Vous jetez un coup d'œil sur votre compteur de vitesse et vous vous rendez compte que vous roulez plus vite que la limite autorisée :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

3. Vous avez fermé le véhicule en laissant les clés à l'intérieur :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

4. Vous êtes impatient(e) du fait de la lenteur d'un véhicule sur la voie médiane et vous le doublez par la droite :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

5. Sur une route de campagne, vous conduisez aussi vite avec les codes qu'avec les phares :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

6. Vous tentez de partir sans avoir mis le contact :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
7. Vous collez le véhicule devant vous ou bien vous lui faites des appels de phares pour lui dire d'aller plus vite ou de changer de voie :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
8. Vous ne vous souvenez plus où vous avez garé votre véhicule dans un grand parking :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
9. Vous êtes distrait(e) ou préoccupé(e) et vous réalisez tardivement que le véhicule devant vous a ralenti. Vous devez freiner brutalement pour éviter la collision :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
10. Vous tentez de mettre les essuie-glaces, mais vous allumez les phares ou vice-versa :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
11. Vous tournez à droite pour entrer sur une route principale et vous croisez le chemin d'un véhicule que vous n'aviez pas vu ou dont vous aviez mal estimé la vitesse :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
12. Vous estimez mal vos distances dans un parking et vous percutez réellement (ou presque) le véhicule voisin :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
13. Vous réalisez soudain que vous n'avez pas de souvenir du trajet que vous venez juste de parcourir :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
14. Vous manquez votre sortie et vous devez faire un long détour :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
15. Vous oubliez en quel rapport de vitesse vous roulez et vous devez vérifier avec votre main :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
16. Sur une route à deux voies (avec ligne blanche continue), vous êtes bloqué(e) derrière un véhicule lent. Frustré(e), vous tentez de le doubler malgré l'interdiction :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
17. En ayant l'intention de vous rendre à la destination A, vous vous retrouvez sur la route pour une destination B qui est votre destination habituelle :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
18. Vous croisez les doigts et passez alors que le feu vient de passer au rouge :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

19. Vous êtes irrité(e) par le comportement d'un autre conducteur et vous décidez de lui donner la chasse afin de lui montrer ce que vous pensez :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

20. Vous essayez de doubler sans avoir regardé dans vos rétroviseurs et vous vous faites klaxonner par l'automobiliste derrière vous qui vient juste d'amorcer sa manœuvre de dépassement :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

21. Délibérément, vous ne respectez pas la limitation de vitesse tard dans la nuit ou très tôt le matin :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

22. Contrairement à la réglementation, vous circulez sans avoir vos papiers (permis de conduire, carte grise, assurance...) :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

23. Perdu(e) dans vos pensées, vous avez oublié que vous roulez en pleins phares jusqu'à ce qu'un autre automobiliste vous le signale :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

24. En tournant à droite, vous manquez de renverser un cycliste qui était sur votre droite :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

25. Dans une file d'attente pour tourner à droite sur une voie principale, vous faites tellement attention au trafic venant de la gauche que vous manquez de percuter le véhicule devant vous :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

26. Vous prenez le volant en sortant d'un restaurant, d'un café ou d'une soirée bien que vous réalisiez que vous êtes peut-être au-dessus du taux légal d'alcoolémie :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

27. Vous avez une aversion pour une catégorie particulière d'usager de la route et/ou une catégorie de comportements et vous indiquez votre hostilité par n'importe quel moyen :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

28. Perdu(e) dans vos pensées, vous ne faites pas attention à la présence d'un piéton qui attend à un passage protégé, ou bien vous ne remarquez pas que le feu vient de passer au rouge :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

29. Vous vous garez près d'un trottoir sur lequel il y a une ligne jaune continue (interdiction de stationner) et vous risquez une amende :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

30. Vous sous-estimez la vitesse d'un véhicule approchant lorsque vous dépassez :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

31. En reculant, vous percutez quelque chose que vous n'avez pas vu :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
32. Vous ne remarquez pas qu'une personne sort de derrière un bus ou un véhicule stationné jusqu'à ce qu'il soit presque trop tard :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
33. Vous planifiez si mal votre trajet que vous vous retrouvez dans un embouteillage que vous auriez pu éviter :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
34. Vous doublez une file continue de véhicules arrêtés ou au ralenti et vous découvrez qu'ils faisaient la queue :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
35. Sur une voie rapide, vous doublez un véhicule lent par la droite :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
36. Vous coupez un virage à gauche et vous devez faire une violente embardée pour éviter le véhicule qui arrive en face :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
37. Vous pénétrez par une mauvaise voie dans un rond-point ou à l'approche d'une intersection :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
38. Vous lisez mal les panneaux et vous prenez la mauvaise sortie à un rond-point :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
39. Vous refusez la priorité au bus qui vient de signaler le départ de son arrêt :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
40. Vous ignorez les panneaux de priorité et vous évitez de justesse une collision avec un véhicule prioritaire :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
41. Vous oubliez de contrôler dans vos rétroviseurs avant de sortir d'un stationnement, de changer de voie, de tourner... :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
42. Vous tentez de doubler un véhicule et vous n'aviez pas remarqué qu'il avait signalé qu'il allait tourner à gauche :
- jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours
43. Vous prenez délibérément une rue déserte en sens interdit :
-

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

44. Lorsque vous conduisez tard dans la nuit sur une route déserte, vous ne respectez pas les feux rouges :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

45. Vous conduisez en jetant un œil sur la route et l'autre sur une carte routière, le réglage de votre radio ou l'insertion d'une cassette :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

46. Vous ne remarquez pas les piétons qui traversent lorsque vous tournez d'une rue principale vers une rue secondaire :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

47. Vous vous trouvez impliqué(e) dans une « course non officielle » avec d'autres conducteurs :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

48. Vous êtes dans une rue étroite dans laquelle les véhicules ne peuvent se croiser. Vous forcez le passage au véhicule qui arrive en face alors qu'il est prioritaire :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

49. Vous freinez trop brutalement sur une route glissante et/ou vous tournez le volant dans le mauvais sens lors d'un dérapage :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

50. Vous estimez mal le temps qu'il vous faut pour tourner à gauche à une intersection et vous manquez d'avoir une collision :

jamais rarement parfois assez souvent fréquemment presque toujours

Veuillez vérifier avoir répondu à toutes les questions.

Annexe 3 . Scénarios de l'expérience 2.

- La distribution des séquences au sein de la tâche de suivi de véhicule est présentée dans le tableau 24.

Tableau 24. Distribution des séquences au sein de la tâche de suivi de véhicule (tâche simple et double tâche).

36 séquences	18 x Faible amplitude	9 x Décélération	3 x (- 10 km/h)
			3 x (- 15 km/h)
			3 x (- 20 km/h)
		9 x Accélération	3 x (+ 10 km/h)
			3 x (+ 15 km/h)
			3 x (+ 20 km/h)
	18 x Forte amplitude	9 x Décélération	3 x (- 35 km/h)
			3 x (- 40 km/h)
			3 x (- 45 km/h)
		9 x Accélération	3 x (+ 35 km/h)
			3 x (+ 40 km/h)
			3 x (+ 45 km/h)

- La distribution spatiale de la présentation des stimuli (nombres) en tâche simple de jugement de parité est présentée dans le tableau X.

Tableau 25. Distribution spatiale de la présentation des nombres en tâche simple de jugement de parité de nombres.

Tâche simple d'identification de nombre	120 nombres	40 x centre (20 pairs / 20 impairs)
		40 x périphérie droite (20 pairs / 20 impairs)
		40 x périphérie gauche (20 pairs / 20 impairs)

- La distribution spatiale de la présentation des stimuli (nombres) en double tâche est présentée dans le tableau 26.

Tableau 26. Distribution spatiale de la présentation des nombres en double tâche.

Double tâche	432 nombres	144 x centre (72 pairs / 72 impairs)
		144 x périphérie droite (72 pairs / 72 impairs)
		144 x périphérie gauche (72 pairs / 72 impairs)

Annexe 4 . Scénarios de l'expérience 3.

- La distribution des séquences au sein de la tâche de suivi de véhicule est présentée dans le tableau 27.

Tableau 27. Distribution des séquences au sein de la tâche de suivi de véhicule (tâche simple et double tâche)

24 séquences	12 x Faible amplitude	6 x Décélération	2 x (- 10 km/h)
			2 x (- 15 km/h)
			2 x (- 20 km/h)
		6 x Accélération	2 x (+ 10 km/h)
			2 x (+ 15 km/h)
			2 x (+ 20 km/h)
	12 x Forte amplitude	6 x Décélération	2 x (- 35 km/h)
			2 x (- 40 km/h)
			2 x (- 45 km/h)
		6 x Accélération	2 x (+ 35 km/h)
			2 x (+ 40 km/h)
			2 x (+ 45 km/h)

- La distribution spatiale de la présentation des stimuli (nombres) en tâche simple d'identification et double tâche est présentée dans le tableau 28.

Tableau 28. Distribution de la localisation d'apparition des nombres en fonction de la tâche (tâche simple d'identification de nombre et double tâche).

Tâche simple d'identification de nombre	120 nombres	40 x centre	10 x supérieur gauche
			10 x supérieur droit
			10 x inférieur gauche
			10 x inférieur droit
		40 x périphérie gauche	10 x supérieur gauche
			10 x supérieur droit
			10 x inférieur gauche
			10 x inférieur droit
		40 x périphérie droite	10 x supérieur gauche
			10 x supérieur droit

			10 x inférieur gauche
			10 x inférieur droit
Double tâche	312 nombres	104 x centre	26 x supérieur gauche
			26 x supérieur droit
			26 x inférieur gauche
			26 x inférieur droit
		104 x périphérie gauche	26 x supérieur gauche
			26 x supérieur droit
			26 x inférieur gauche
			26 x inférieur droit
		104 x périphérie droite	26 x supérieur gauche
			26 x supérieur droit
			26 x inférieur gauche
			26 x inférieur droit

Annexe 5. Critères d'inclusion et de non inclusion

Principaux critères d'inclusion :

La réponse à chacune des questions suivantes devra être OUI pour permettre au sujet d'être inclus dans l'étude :

- le sujet a-t-il déjà consommé de l'alcool ?
- le sujet est-il âgé de 18 à 22 ans ?
- après visite médicale, le sujet est-il considéré par l'investigateur comme sain ?
- le sujet a-t-il moins de 1 mois de permis ou le sujet a-t-il 3 ans de permis?

Critères d'exclusion:

Seront exclus de la participation à cette étude:

- les sujets ayant participé à un essai clinique dans un délai inférieur à la période d'exclusion de ce projet (vérification par l'inscription au Fichier National);
- les femmes enceintes ;
- les sujets chez lesquels l'ingestion d'alcool présente un risque non nul pour leur santé, à savoir les sujets :
 - * présentant une hypersensibilité à l'alcool ou n'en ayant jamais consommé ;
 - * présentant une dépendance, actuelle ou passée, à l'alcool, aux opiacés, aux benzodiazépines ou à toute drogue illicite ;
 - * souffrant d'insuffisance respiratoire, d'asthme, d'insuffisance hépatique, de myasthénie ou d'un syndrome d'apnée du sommeil ;
- les sujets présentant des habitudes, antécédents médicaux, ou toute pathologie aiguë ou chronique pouvant influencer les résultats aux tests, en particulier les sujets :
 - * présentant une histoire passée ou présente de maladie neurologique ;
 - * souffrant de troubles de la vigilance diurne ou du sommeil : insomnies, parasomnies ou hypersomnies ;
 - * avec une acuité visuelle, éventuellement après correction par lentilles de contact, inférieure à 7/10 ;
 - * ayant pris tout hypnotique ou tout autre dépresseur du système nerveux central (morphiniques, barbituriques, antiépileptiques, antidépresseurs sédatifs, antihistaminiques, anxiolytiques, neuroleptiques, clonidine et apparentés) pendant le mois qui précède l'expérimentation ;
 - * consommant plus de 28 unités d'alcool par semaine ;