

Impact des situations d'attention partagée sur le traitement de l'information chez les conducteurs novices

Par Houda HAMAMA

Thèse de doctorat en Psychologie

Mention :Dimensions cognitives et modélisation

Sous la direction de Robert MARTIN

Présentée et soutenue publiquement le 9 juillet 2010

Membres du jury : Robert MARTIN, Professeur émérite, Université Lyon 2 Bernard CADET, Professeur des universités, Université de Caen Marie-Pierre BRUYAS, Chargée de Recherche, I.N.R.E.T.S. Thierry BELLET, Chargé de Recherche, I.N.R.E.T.S. André CHAPON, Directeur de Recherche émérite, I.N.R.E.T.S. Anabela SIMOES, Professeur émérite, Universidade Técnica de Lisboa

Table des matières

Contrat de diffusion ..	6
Remerciements ..	7
Résumé ..	8
Abstract ..	9
Introduction ..	10
I/ Activité cognitive du conducteur automobile ..	13
1-1/ Rôle des processus attentionnels ..	14
1-1-1/ Attention sélective ..	14
1-1-2/ Partage attentionnel ..	17
1-1-3/ Processus automatiques vs processus contrôlés ..	18
Conclusion ..	21
1-2/ Traitement de l'information ..	21
1-2-1/ Rôle de la perception dans le traitement de l'information ..	22
1-2-2/ Rôle de la mémoire dans le traitement de l'information ..	23
1-2-3/ Rôle des connaissances dans le traitement de l'information ..	30
1-2-4/ Rôle de la prise de décision dans le traitement de l'information ..	34
1-3/ Distraction au volant ..	39
1-3-1/ Cas du téléphone portable ..	39
1-3-2/ Effets de la distraction sur l'activité de conduite ..	41
1-3-3/ Cas des systèmes de navigation ..	46
II/ L'erreur dans le cadre de la conduite automobile ..	49
2-1/ Spécificités de l'erreur ..	49
Occurrence d'erreurs dans un environnement non familier ..	51
Occurrence d'erreurs dans un environnement familier ..	51
2-2/ Classification de l'erreur humaine ..	52
2-2-1/ Modèle « Skill – Rules – Knowledges » ..	52
2-2-2/ Modèle « Generic Error Modelling System » ..	56
2-2-3/ Lien entre les deux modèles ..	59
2-3/ Contribution de l'erreur à l'analyse de l'activité de conduite ..	60
L'approche comportementale de Risser (1985) ..	65
III/ Effet de l'expérience sur les performances de conduite : les conducteurs novices ..	66
3-1/ Caractéristiques des conducteurs novices ..	66
3-2/ Développement des compétences ..	69
3-3/ Compétences attentionnelles ..	70
3-4/ Compétences perceptives ..	71
3-4-1/ Spécificités de la recherche d'informations des conducteurs novices ..	71
3-4-2/ Commandes du véhicule et organes de contrôles (rétroviseurs) ..	73
3-4-3/ Exploration anticipatrice ..	74
IV/ Problématique et hypothèses ..	75
4-1/ Problématique et hypothèse générale de la thèse ..	75

4-2/ Hypothèses expérimentation 1 ..	78
4-3/ Hypothèses expérimentation 2 ..	79
V/ Expérimentation 1 ..	80
5-1/ Participants ..	80
5-2/ Matériel ..	81
5-2-1/ Véhicule instrumenté ..	81
5-2-2/ Matériel embarqué ..	81
5-2-3/ Circuit ..	83
5-3/ Tâche ..	84
5-3-1/ Tâche principale ..	84
5-3-2/ Tâche ajoutée ..	84
5-3-3/ Déroulement ..	84
5-4/ Recueil des données et analyses ..	85
5-4-1/ Variables ..	85
5-4-2/ Analyses ..	88
5-5/ Résultats ..	89
5-5-1/ Performances globales ..	89
5-5-2/ Comportements de conduite ..	92
5-3-4/ Niveaux hiérarchiques de l'activité de conduite ..	103
5-6/ Discussion ..	108
Au niveau du maintien de la dynamique du véhicule ..	108
Au niveau de la recherche d'informations ..	110
Au niveau de la communication entre usagers ..	112
Niveaux hiérarchiques de l'activité de conduite (Michon, 1985) ..	112
Configurations routières (TAG, TAD) ..	113
VI/ Expérimentation 2 ..	115
6-1/ Participants ..	115
6-2/ Matériel ..	115
6-3/ Tâche ..	116
6-3-1/ Tâche principale ..	116
6-3-2/ Tâche de report d'éléments ..	121
6-3-3/ Tâche ajoutée auditive ..	124
6-3-4/ Déroulement ..	124
6-4/ Recueil des données et analyses ..	125
6-4-1/ Variables ..	125
6-4-2/ Analyses ..	125
6-5/ Résultats ..	129
6-5-1/ Type d'information recherchée (éléments pertinents - éléments secondaires) ..	129
6-5-2/ Localisation de la source d'information (zone proche – zone lointaine)	136
6-6/ Discussion ..	145
Conclusion et perspectives ..	149

Bibliographie	152
Publications	162
Annexes	164
Annexe 1 : intersections analysées lors de l'expérimentation 1	164
Intersection 1	164
Intersection 2	164
Intersection 3	165
Intersection 4 :	166
Intersection 5 :	166
Intersection 6 :	167
Intersection 7 :	167
Intersection 8 :	168
Intersection 9 :	168
Intersection 10	169
Intersection 11	170
Intersection 12	170
Intersection 13	171
Intersection 14	171
Intersection 15	171
Intersection 16	172
Intersection 17	172
Intersection 18	173
Intersection 19	173
Intersection 20	174
Annexe 2 : Exemple d'intersections type utilisées lors de l'expérimentation 2	174

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

Remerciements

J'aimerais ici remercier l'ensemble des personnes qui ont permis à ce projet d'aboutir en commençant par le professeur Robert Martin, directeur du LEACM, pour avoir accepté de diriger cette thèse.

Je remercie également Marie-Pierre Bruyas pour avoir initié et dirigé ce travail ainsi que Corinne Brusque, directrice du LESCOT, qui en plus de m'avoir accueillie dans son laboratoire, a suivi le déroulement de cette thèse.

Je remercie toute l'équipe technique et notamment Arnaud Bonnard, Phillippe Deleurence et Vincent Blanchet pour avoir permis la mise en place des expérimentations. Sans leur aide rien n'aurait été possible.

Pour leur lecture minutieuse du manuscrit j'aimerais remercier les rapporteurs de ma thèse : Anabela Simoes et Bernard Cadet. Je remercie également Thierry Bellet et André Chapon pour avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

Je tiens particulièrement à remercier Alexandra Fort pour son soutien, son aide précieuse, et surtout pour ses relectures minutieuses qui m'ont permis d'arriver au terme de ce travail.

Je tiens également à remercier Céline (G) et Céline (G.F) pour leur présence tout au long de ce parcours.

La réalisation de cette thèse s'appuie sur un environnement qui est essentiel. A ce titre, j'aimerais remercier l'ensemble des membres du LESCOT pour le climat qui l'y règne.

Je remercie l'ensemble des sujets qui ont participé aux expérimentations.

Je remercie également ma famille et en particuliers mes parents pour leur présence et leur soutien inconditionnel.

Je remercie mes amis (Zo, Fat, D.) pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté et en particuliers Nora qui a su être présente quand il le fallait.

Résumé

Ce travail de thèse est centré sur les effets de la distraction sur les performances de conduite. Lorsqu'il conduit, un conducteur doit non seulement être capable de maintenir le contrôle du véhicule, mais également être en mesure de prélever et de traiter les informations pertinentes provenant de l'environnement routier. Ces capacités peuvent être mises à défaut par l'introduction des systèmes de communications et d'informations dans les véhicules qui le placent en situation d'attention partagée et augmentent les sources de distraction. Ce travail a tenté de déterminer comment la population des jeunes conducteurs novices, caractérisée par un fort taux d'accidents (Clarke et al. 2005) et des compétences de conduite faiblement développées (Whelan et al. 2004) gère ces situations d'attention partagée. Deux expérimentations ont alimentés cette thèse. La première, en environnement réel de conduite, visait à analyser les effets de l'utilisation conjointe d'un système de navigation et d'un téléphone portable sur la qualité de la prise d'information et du traitement de l'information (au travers de différents paramètres comportementaux). La seconde, réalisée en laboratoire, était destinée à compléter les résultats de la première expérimentation en se concentrant exclusivement sur les modalités de recherche et de prise d'informations selon que le conducteur soit novice ou expérimenté. En fonction de l'expérience de conduite, les résultats offrent des conclusions mitigées en matière de traitement de l'information en situations d'attention partagée.

Mots clés : attention, attention partagée, recherche d'informations, traitement de l'information, conscience de la situation, conducteurs novices, téléphone portable, système de navigation, erreurs, prise de décision

Abstract

Title: Impact of divided attention situations on novice drivers' information processing

This PhD thesis aims to study the distraction effects on driver performances. While driving, a driver must be able to maintain the vehicle control and also to process the relevant information from the road environment. These abilities can be impaired by the introduction of information and communication systems inside the car which put the driver in dual-task situation and increase the sources of distraction. This work tries to determine how the population of young novice drivers, characterized by a high crash rate (Clarke et al. 2005) and by poorly developed driving skills (Whelan et al. 2004) manages these situations of time sharing.

Two experimentations were conducted. The first one, on real road, aims at analyzing the effects of simultaneously use of a navigation system and a mobile phone on the information processing (achieve by analyzing behavior parameters). The second one, in laboratory, aims at completing the first results, by focusing on modalities of research and handling information according to the drivers' experience (novice or experienced). According to the driving experience, results are ambivalent in terms of information processing during divided attention situations.

Key words: attention, divided attention, information processing, situation awareness, novice drivers, mobile phone, navigation system, errors, decision making

Introduction

Quel que soit le niveau de développement d'un pays, l'important volume de son parc automobile révèle le caractère commun et banal de l'activité de conduite. L'apparente simplicité qui caractérise cette tâche occulte la complexité des mécanismes cognitifs mis en jeu et nécessaires à son bon fonctionnement. Un paradoxe malheureusement explicité par les statistiques de la sécurité routière.

Pour comprendre ce paradoxe, il est essentiel de définir clairement l'activité de conduite. Selon Neboit (1980), « *conduire un véhicule, c'est effectuer un déplacement dans un environnement en constante évolution. Ce déplacement est orienté vers des buts, soumis à différentes règles (explicites et implicites) et s'effectue au moyen d'un outil particulier, le véhicule* ». Deux niveaux de difficulté émergent de cette définition. Le premier concerne la gestion des interactions « conducteur-véhicule-environnement » et le second est relatif aux interactions « conducteur-véhicule » (Neboit, 1980).

Durant un trajet, le dynamisme et la diversité du système routier imposent au conducteur une adaptation continue. Que ce soit en termes de densité du trafic, de conditions climatiques, de types d'infrastructures ou de types d'usagers (Van Elslande, 1992), les caractéristiques d'une situation de conduite ne sont jamais identiques à une autre et de fait ce dynamisme induit d'importantes pressions temporelles pour le conducteur. Il est systématiquement contraint de réagir rapidement dès qu'une situation vient à se complexifier. Un conducteur peut, par exemple, traverser différentes infrastructures et évoluer d'une situation relativement calme (trajet sur autoroute avec un trafic fluide) vers une situation beaucoup plus complexe à gérer et coûteuse en attention (trajet en centre ville). Dans le premier cas, la tâche du conducteur consistera simplement à maintenir l'allure et la position du véhicule sur la chaussée. Les voies sont généralement droites et les usagers vont tous dans le même sens. Aucun traitement particulier n'est nécessaire et le conducteur subit peu de pression temporelle. Dans le second cas, la gestion de la situation devient plus compliquée en raison de l'enchaînement de configurations routières différentes et des flux de véhicules aux directions diverses. En un court instant, le conducteur doit traiter une multitude d'informations pour répondre le plus adéquatement possible à la situation. La gestion de ce surplus d'informations est complexe et demande énormément de ressources cognitives (Saad et al. 1992). Par exemple, lorsque le trafic est dense, le conducteur doit déployer davantage de ressources attentionnelles pour répondre correctement à des événements potentiellement critiques. Associées à cela, les conditions climatiques peuvent également générer une demande supplémentaire en ressources attentionnelles. Un déplacement par temps pluvieux sera plus coûteux en attention qu'un trajet par temps ensoleillé. La visibilité est réduite, le sol est glissant et le risque d'accident est accru.

Seulement, avant d'être confronté à ce dynamisme de l'environnement routier, le conducteur doit apprendre à interagir avec son propre véhicule. L'interaction « conducteur-véhicule » (Neboit, 1980) sous entend que l'activité de conduite est à considérer comme une activité globale aux sous-tâches multiples et suppose une parfaite coordination entre des sous-tâches à composantes cognitives et des sous-tâches à composantes sensori-motrices. Il est inutile de préciser que la tâche de conduite repose sur des activités cognitives complexes. Le conducteur doit continuellement extraire et traiter les

informations pertinentes de l'environnement routier. Une mauvaise coordination entre ces sous-tâches induira des erreurs de conduite. Les sous-tâches sensori-motrices, quant à elles, correspondent à des compétences de conduite (ou habiletés automatisées) qui permettent la gestion technique du véhicule à savoir la tenue du volant, le changement de vitesse, le freinage et le maintien du véhicule sur la chaussée. Elles sont incontournables à tout déplacement.

Dans ce contexte, il est intéressant de préciser que depuis quelques années, les habitudes de conduites ont évolué. Avec le développement et l'introduction de systèmes de communications et d'informations au sein des véhicules, les automobilistes ne cherchent plus simplement à effectuer un trajet mais tentent de rendre ce temps de trajet productif, par exemple en passant les appels qu'ils n'ont pas pu faire durant la journée. Nombreux sont ceux qui, avant même de démarrer et sans savoir s'ils vont émettre ou recevoir un appel ont le réflexe de placer le téléphone à proximité. Ces situations ne nous sont pas étrangères, loin de là. Il suffit simplement d'observer un flux de véhicules sur une portion d'autoroute par exemple, pour se rendre compte qu'il est extrêmement fréquent de voir des automobilistes téléphoner. Cette situation est devenue « normale » et anodine pour les usagers en dépit des perturbations de l'activité de conduite et des risques en termes de sécurité routière. Dans ce contexte, la population des jeunes conducteurs novices se dégage tout particulièrement. Ne pouvant se passer des nouvelles technologies, constamment au téléphone ou devant leur écran d'ordinateur, ils ont l'habitude de mener plusieurs discussions en parallèle. Ainsi, lorsque ces jeunes prennent le volant, la question est de savoir comment l'utilisation excessive du téléphone portable dont ils font preuve va avoir un impact sur des compétences de conduite encore en construction. Comment un jeune conducteur novice, fraîchement licencié, parviendra-t-il à gérer une tâche encore nouvelle pour lui, à savoir l'activité de conduite, avec une tâche qu'il connaît particulièrement bien, à savoir la conversation téléphonique?

De nombreuses études ont démontré que la réalisation d'une tâche ajoutée dégrade les performances de conduite. Toutefois peu de recherches se sont centrées sur les jeunes conducteurs novices. L'objet de cette thèse visera à porter une attention particulière à cette population en mettant l'accent sur leur performance de conduite et sur la qualité du traitement de l'information lorsqu'ils sont en situation d'attention partagée. Il s'agira plus spécifiquement d'articuler le travail autour de deux populations de conducteurs, des conducteurs expérimentés et des conducteurs novices afin de procéder à des comparaisons et de vérifier l'impact de la situation de double tâche en fonction des caractéristiques de chacun. En effet, hormis des dégradations de performances au niveau visible (maintien de la trajectoire par exemple), un des problèmes majeurs causé par une conversation téléphonique est lié à des problèmes au niveau cognitif. Si l'on interroge, par exemple, un conducteur en situation d'attention partagée sur les informations pertinentes de la scène routière, les informations prélevées dans la scène routière seront potentiellement erronées ou inexactes. Le traitement de l'information ne sera pas optimal et les décisions prises potentiellement inappropriées. Plusieurs modèles expliquant les étapes de traitement de l'information coexistent. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous pencherons essentiellement sur le modèle *Skills-Rules-Knowledge* (SRK) de Rasmussen (1983, 1986) dans la mesure où il prend en compte le niveau de familiarité et d'expérience pour expliquer le traitement de l'information.

Ce document s'organisera autour de six chapitres présentant conséutivement les aspects théorique et méthodologique avant de présenter les résultats et leur discussion. Notre *premier chapitre* sera consacré à l'activité cognitive du conducteur automobile. Nous

reviendrons dans un premier temps sur le rôle de l'attention. En effet, nous ne pouvons parler du fonctionnement cognitif sans évoquer l'action des processus attentionnels. Cela nous permettra d'introduire notre second point relatif au traitement des informations. Nous verrons notamment le rôle de la mémoire et des connaissances dans l'efficacité du traitement de l'information avant de revenir sur le modèle de Rasmussen pour expliquer la dernière étape de la chaîne du traitement de l'information et comprendre comment les prises de décisions sont effectuées. Nous clôturerons ce chapitre par la présentation et l'interprétation des effets de la distraction sur les performances de conduite. Le *second chapitre* sera destiné à l'étude de la production d'erreurs dans le cadre de la conduite automobile. Nous reviendrons tout d'abord sur les spécificités de l'erreur, avant de mettre en avant deux principaux modèles permettant l'analyse de celle-ci. A savoir le modèle de SRK de Rasmussen (1983, 1986) et le modèle *Generic Error Modelling System* (GEMS) de Reason (1993). Nous terminerons ce chapitre par l'intérêt de la prise en compte de l'erreur pour l'analyse et la compréhension de l'activité de conduite. Pour cela, nous mettrons en avant une méthode d'analyse de l'erreur dans le cadre de la conduite automobile. Dans notre *troisième chapitre*, nous nous focaliserons sur une population bien précise de conducteurs, à savoir celles des conducteurs novices. Nous commencerons par expliquer ce qui caractérise cette population avant de nous intéresser au développement des compétences attentionnelles et perceptives de ces conducteurs. Le *chapitre quatre* reprendra la problématique et les hypothèses à vérifier durant le travail de thèse. Les *chapitres cinq et six* présenteront les méthodologies des expérimentations ainsi que les résultats obtenus et se termineront par une discussion des expérimentations. Au cours de ces discussions nous reviendrons sur la validation ou non de nos hypothèses opérationnelles. La conclusion nous permettra de valider ou non notre hypothèse générale et nous présenterons les perspectives de recherche de ce travail.

I/ Activité cognitive du conducteur automobile

L'objet de ce chapitre est de mieux comprendre l'activité cognitive du conducteur ainsi que les interactions qui existent entre les divers processus cognitifs mis en jeux. Il s'agit de déterminer comment, lors d'un trajet, un conducteur gère l'ensemble des informations qui se présentent à lui. Comment il effectue une sélection parmi toutes ces informations. Le traitement d'une information est-il effectué de la même manière par un conducteur novice et par un conducteur expérimenté ? Les différences observées au niveau opératoire entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés influencent-elles la gestion des changements de l'environnement ?

Ces interrogations nous amèneront à expliciter l'action des principaux mécanismes cognitifs et à développer la manière dont ils sont mis en jeu dans le domaine de la conduite automobile. Il s'agira plus spécifiquement de comprendre comment l'attention est mobilisée et comment le niveau de familiarité avec une tâche influence l'efficacité des processus attentionnels. Nous nous interrogerons sur les processus mis en place en fonction des situations et surtout comment ils évoluent en fonction de l'expérience du conducteur. Nous verrons pourquoi la construction d'un modèle mental de la situation de conduite est importante pour le conducteur. Nous ferons ainsi référence au modèle de Mica Endsley (1991, 1995) et nous mettrons en évidence le fait qu'un défaut d'attention peut engendrer un défaut dans les mécanismes d'anticipation. Ce chapitre s'achèvera en montrant de quelle manière les informations sont traitées. Nous expliciterons les étapes du traitement de l'information ainsi que l'influence qu'exercent les processus attentionnels sur chacune d'entre elles. Comment s'effectue le passage d'une étape à l'autre et comment la familiarité d'une tâche à effectuer et/ou de l'environnement favorise la rapidité du traitement des informations pour aboutir à une prise de décision adéquate.

En premier lieu, il convient d'évoquer le modèle de Michon (1985) qui décrit l'activité de conduite et en donne une analyse globale caractérisée par trois niveaux hiérarchiques de prises de décision. La navigation et la planification de l'itinéraire correspondent au premier niveau, *le niveau stratégique*. L'itinéraire sera choisi en prenant en compte l'ensemble des fluctuations de l'environnement : les situations potentiellement dangereuses, les chemins les plus rapides, les conditions climatiques, les éventuels embouteillages, les déviations et travaux ainsi que le temps disponible pour effectuer le trajet. Les tâches annexes, telle que le remplissage du réservoir d'essence, sont également incluses dans ce niveau. Le second niveau correspond aux actions effectuées à des instants précis du trajet (Bellet, et al., 2003). C'est le *niveau tactique* au travers duquel la conscience de la situation tient un rôle important afin de pouvoir adopter des comportements anticipatoires (Van Zomeren et al. 1988). A ce niveau, les prises de décision requièrent un contrôle cognitif permettant la sélection des informations, la rapidité du traitement et l'adaptation du comportement de conduite vers les buts choisis. Par exemple, lorsqu'un conducteur envisage un dépassement, il perçoit les informations relatives au trafic, les intègre et adapte son comportement de conduite en conséquence. Il régulera sa vitesse et respectera les distances inter-véhiculaires. Le dernier niveau, *le niveau opérationnel*, réfère à l'application directe des décisions prises

précédemment. Il correspond à la réalisation des sous-tâches de l'activité de conduite ainsi qu'aux réactions aux événements imprévus susceptibles d'occasionner un accident. Les tâches élémentaires telles que les actions sur les pédales ou la tenue du volant doivent pouvoir être exécutées de façon automatique. L'efficacité de ce niveau dépend de l'expérience des conducteurs.

L'efficacité et la fluidité de l'enchaînement d'un niveau à l'autre dépendent de la répartition des ressources attentionnelles. Plus le degré d'automatisation au niveau opérationnel sera élevé, plus la quantité de ressources attentionnelles libérée sera importante et disponible pour le niveau tactique qui requiert notamment une recherche d'informations active et des prises de décisions.

1-1/ Rôle des processus attentionnels

Comme nous l'avons dit précédemment, l'activité de conduite est une activité complexe reposant sur la synchronisation de différentes sous-tâches. Aussi, la polémique perdure lorsque l'on cherche à définir le niveau minimum de compétences de conduite nécessaire pour une conduite sécuritaire et pour qualifier un usager de « bon conducteur ». En effet, l'activité de conduite ne se résumant pas seulement à déplacer un véhicule d'un point A vers un point B, on considère qu'un conducteur a acquis des compétences de conduite suffisantes lorsque la majorité des sous-tâches est automatisée. En effet, le conducteur doit prendre en compte tous les éléments de l'environnement routier et plus particulièrement l'action des autres usagers présents dans cet environnement (venant de gauche ou de droite, qu'ils soient automobilistes ou piétons) pour anticiper leurs actions éventuelles. Il doit également et en toutes circonstances rester maître de son véhicule. L'activité cognitive du conducteur est ainsi continuellement sollicitée, ce qui constitue un exercice encore difficile pour un jeune conducteur novice.

Nous ne pouvions introduire un chapitre consacré à l'attention sans faire référence à la définition de Williams James (1890 cité par Camus (2003)) et qui nous permettra d'évoquer les principaux processus cognitifs mis en jeu lors de la sélection et du traitement des informations. Selon cette définition l'attention correspond à « *la faculté de prendre possession par l'esprit, sous forme vive et claire, d'un objet courant de pensée parmi tous ceux qui paraissent se présenter simultanément. Focalisation, concentration de la conscience sont de son essence. Cela implique de se retirer de certaines choses pour en traiter d'autres efficacement* ».

1-1-1/ Attention sélective

1-1-1-1/ Orientation de l'attention

Compte tenu du dynamisme et de la complexité de l'environnement routier, une importante quantité d'informations doit être prise en compte afin d'être ou non traitée. Par attention sélective, on entend un ensemble de processus assurant la focalisation des ressources attentionnelles sur des informations spécifiques afin d'assurer l'efficacité de leur traitement. Cette focalisation est non seulement rendue possible grâce à des processus de sélection et d'activation de l'information pertinente mais également grâce à l'inhibition du traitement

des informations potentiellement perturbatrices. Les processus d'inhibition sont ainsi plus que nécessaires au bon fonctionnement de l'attention sélective.

Ainsi, le prélèvement d'une information fait l'objet de deux mécanismes coexistant. Le premier processus est facilement illustrable. Il nous est tous arrivé de nous promener tout en discutant avec un ou plusieurs amis et d'être soudainement attiré par le bruit d'un freinage d'urgence. Nous tournons automatiquement et de manière incontrôlée la tête en direction de ce bruit. Dans le cadre de la conduite automobile, il s'agit par exemple du regard qui est automatiquement attiré par une publicité saillante. Sans même réfléchir nous en lisons instantanément le contenu et nous en traitons l'information. L'attention est ainsi détournée de la tâche en cours vers cette autre source d'information. Dans ce cas, les données de l'environnement et la prégnance du stimulus rencontré dirigent l'orientation de l'attention. Aucune ressource attentionnelle n'est mise en jeu, les mécanismes impliqués sont automatiques (Kahneman & Treisman, 1984). Ce processus « bottom up » est rapidement mise en place et de courte durée, et suffit à interrompre l'activité en cours. Ce phénomène correspond à l'attention passive.

Parallèlement à ce type d'orientation, l'attention du conducteur peut être mobilisée volontairement. Il s'agit d'une orientation dite de type « top down » ou attention active. Ce sont les motivations des sujets ainsi que la nature de la tâche à réaliser qui mobilisent les ressources attentionnelles pour les orienter vers les éléments importants de l'environnement. Cela confère à l'attention active un statut particulier puisque c'est par son intermédiaire que le sujet pourra anticiper les éventuels changements dans l'environnement (Chapon et al. 2004). Contrairement à l'attention passive, les processus sont plus lents à se mettre en place mais une fois engagés, ils permettent de résister à la distraction. Durant un trajet, le passage d'un type d'attention vers un autre est commun. En effet, malgré les hypothèses que le conducteur émet et les stratégies qu'il choisit pour atteindre son but, il n'est pas exclu qu'un élément imprévu détourne son attention. A cet instant, l'attention passive se modifie en attention active bien que l'élément à traiter reste identique (Näätänen, 1992). L'attention sélective permet au conducteur de se focaliser sur les éléments pertinents. Durant l'apprentissage de la tâche de conduite, elle se traduit de deux manières. Il ne s'agit pas seulement pour le conducteur d'apprendre à rechercher l'information pertinente, mais il s'agit également et surtout d'apprendre à ignorer les informations moins importantes et inutiles pour l'activité de conduite (Näätänen & Summala, 1976). Tout cela permet d'arriver au rôle principal de l'attention sélective qui est de réhausser le traitement des informations pertinentes et d'inhiber les informations distractrices. Ainsi, comme pour l'ensemble des sous-tâches propres à l'activité de conduite, l'efficacité et l'orientation de l'attention sont liées à l'expérience de conduite. C'est en automatisant certaines sous-tâches que des ressources attentionnelles sont libérées au profit de sous-tâches cognitives.

Une fois le rôle de l'attention active identifié, il s'agit de déterminer dans quelle mesure les informations prélevées vont être traitées. Ainsi, l'un des éléments clé de la définition James (1890), à savoir l'attention sélective, à générer certaines interrogations quant à la manière dont les informations sont perçues et maintenues dans la conscience. Est-il possible de prendre en compte plusieurs messages simultanément ? Les messages perçus requièrent-ils tous des ressources attentionnelles ? A quel niveau les informations sélectionnées par le système attentionnel sont-elles traitées ? L'information est-elle filtrée avant d'atteindre l'étape de la reconnaissance des formes ou y a-t-il une sélection ultérieure ?

1-1-1-2/ Théories de l'attention sélective

Les modèles de traitement de l'information

Broadbent (1958) a mis en avant l'action d'un filtre attentionnel dont l'objectif est d'éviter que le système de traitement ne soit surchargé. Ce modèle repose sur l'idée d'une sélection précoce de l'information en raison de l'existence d'un canal unique de traitement. La capacité limitée du système ne permet pas de traiter l'ensemble des stimulations qui parviennent au registre sensoriel. Le filtre agit comme un entonnoir et ne laisse passer qu'une information à la fois, sans aucune prise en compte des caractéristiques sémantiques des messages. La sélection a lieu entre le registre sensoriel et la mémoire à court terme. Ce processus de filtrage est basé sur les caractéristiques physiques générales de l'information. Le modèle de Broadbent (1958) se limite ainsi à un simple canal n'ayant pas de mécanisme pour diviser l'attention. Selon cette théorie, la sélection simultanée de plusieurs informations induira une division de l'attention et de fait un certain coût. La qualité de traitement de chacun des éléments sera moins efficace que s'il était traité isolément.

Nous pouvons toutefois émettre certaines limites concernant ce modèle. Selon Broadbent (1958), une information filtrée ne peut plus être traitée. Hors, les résultats expérimentaux révèlent une possibilité de traitement mais qui s'inscrirait dans la durée. Un temps est nécessaire pour passer d'une information à l'autre et permettre ainsi à une information momentanément filtrée d'être traitée. Pour cela, il est important que le registre d'informations sensorielles maintienne l'information suffisamment longtemps pour effectuer le second traitement. Le cas échéant, l'information ne sera ni prise en compte ni reconnue.

Une seconde critique concerne l'absence de traitement sémantique avant la sélection de l'information. Les travaux de Moray (1959) avaient montré en situation d'écoute dichotique que des informations sensorielles pouvaient être traitées avant que le mécanisme de filtrage n'intervienne. Un message principal est présenté au sujet à une oreille tandis qu'un message secondaire est présenté à l'autre oreille. Les sujets se sont avérés capables de répéter les messages sur lesquels ils s'étaient focalisés, mais se sont aussi montrés en mesure de rapporter certains éléments concernant le message secondaire. Les premières explications de ce phénomène ont été apportées par Treisman (1960) avec la proposition d'un modèle basé sur l'action d'un filtre atténuateur. Il n'y aurait pas forcément un blocage ou rejet des stimuli inattendus mais l'atténuateur laisserait simplement passer moins de messages. Il distinguera deux messages sur la base de leurs caractéristiques physiques (l'intensité, le ton, etc.). Les messages non attendus ne seraient pas complètement bloqués par le filtre, ils seraient atténués afin d'être éventuellement perçus ultérieurement (Lemaire, 1999). Ce modèle stipule également que la reconnaissance d'un mot dépend de l'intensité de son seuil d'activation. D'après Treisman (1960), chaque stimulus possède un seuil d'activation¹. Pour qu'une information soit prise en compte ou pour qu'elle active une réaction, même minime, son seuil d'activation doit être faible. Ainsi, même une information extérieure au canal regroupant les informations en cours de traitement pourra être traitée. Par ailleurs, notons que le jugement subjectif des sujets est primordial dans le choix de traitement d'une information. Si l'information est considérée comme pertinente elle sera prise en compte et rapidement traitée. En revanche, si elle est jugée comme non pertinente, elle sera atténuée et prise en compte ultérieurement.

D'autres auteurs ont considéré un rôle plus tardif de ce filtre. Le modèle de Deutsch et Deutsch (1963) a situé cette sélection après l'étape de la reconnaissance des formes et

¹ Seuil d'activation : quantité minimale d'activation nécessaire pour la prise de conscience d'un stimulus.

avant l'encodage mnésique. Selon ces auteurs, deux messages peuvent être reconnus mais seront rapidement oubliés s'ils ne sont pas importants. Il n'y a pas de sélection précoce des messages, l'attention interviendrait après que tous les stimuli soient entrés dans le système cognitif. C'est au moment où l'information entre en mémoire à court terme, qu'elle fera l'objet d'une sélection afin d'être traitée en profondeur (Lemaire, 1999).

Nous venons ainsi d'expliquer comment les processus attentionnels interviennent dans la sélection et dans le traitement d'une information. Nous allons expliquer comment cette sélection et ce traitement s'effectuent dans des situations où l'attention est partagée entre deux sources d'information.

1-1-2/ Partage attentionnel

La majorité des modèles structuraux, référencés sous les théories de l'entonnoir, explique ces difficultés ainsi que la limitation des capacités du système par l'existence de goulots d'étranglements. Ces derniers empêchent le système de traiter un nombre « illimité » d'éléments simultanément. Selon Kahneman (1973), ces modèles ne prennent pas en compte le caractère intensif du traitement lorsque la tâche nécessite un traitement en profondeur. Ils ne rendent pas compte des mécanismes impliqués et n'expliquent pas les baisses de performances liées au partage attentionnel. C'est ainsi que pour compléter ces théories, Kahneman (1973) introduit le modèle de ressources attentionnelles. Il s'agit d'un modèle de distribution de ressources entre les diverses activités mentales les sollicitant. Le système cognitif dispose d'un réservoir limité de ressources qu'il affecte délibérément entre les différentes demandes attentionnelles. C'est le système central de traitement de l'information qui évalue la demande faite par chacune des tâches et ajuste la quantité d'attention à accorder. Les baisses de performances relevées lorsque deux informations sont traitées simultanément sont liées à la capacité limitée du réservoir qui ne permet pas de traiter équitablement chacune des informations.

Ce modèle, comme les théories de l'entonnoir, prédit un risque d'interférence lors des situations de double tâche mais l'attribue à des causes différentes. Rappelons que pour les théories de l'entonnoir l'interférence se produit car c'est le même mécanisme qui est sollicité au même moment pour exécuter deux opérations incompatibles. Dans les faits, les deux types d'interférences se produisent et pour cette raison, les deux théories sont complémentaires.

Une théorie alternative à celle de Kahneman (1973), postule l'existence « *d'une multitude de réservoirs attentionnels où chaque traitement viendrait puiser la quantité de ressources dont il a besoin sans rien consommer des ressources appartenant aux autres réservoirs qu'ils n'utilisent pas et qui peuvent donc servir à réaliser en parallèle d'autres traitements différents* » (Camus, 1996). Dans cette perspective, Wickens (1984) propose sa théorie de ressources multiples selon laquelle les réservoirs de ressources sont constitués de quatre facteurs : les modalités d'entrée, les modalités de sortie, les niveaux de traitement et les codes utilisés. Un partage peut être effectué si les ressources nécessaires au traitement de deux informations proviennent de réservoirs différents. Les deux tâches seront traitées avec la même efficacité, sans subir la moindre dégradation. Toutefois, ce modèle reste à un niveau global et simpliste (Chapon et al. 2004). Il ne souligne pas la distinction et le rôle des processus automatique et contrôlé. De plus, cette théorie ne permet pas d'expliquer comment le traitement de deux tâches, utilisant des modalités sensorielles différentes puissent interférer entre elles.

Avant de clore ce paragraphe destiné aux processus attentionnels, nous nous devons de préciser et d'évoquer la différence entre deux types de traitements, ceux qui sont liés à des processus automatiques et ceux qui sont liés à des processus contrôlés.

1-1-3/ Processus automatiques vs processus contrôlés

Norman et Bobrow (1975) ont introduit la notion d'automatisme ou d'automatisation pour expliquer les effets de la pratique sur les performances d'un individu. Cette notion renvoie au phénomène selon lequel la pratique d'une activité favorise le développement des processus automatiques. Le système cognitif deviendrait plus performant avec l'apprentissage et cela se traduirait, entre autres, par un besoin moindre en ressources cognitives dû à l'automatisation de certains traitements (Chanquoy et al. 2007). Les travaux de Schneider et Shiffrin (1977), fondamentaux dans le domaine de l'attention, reprennent cette idée et postulent que la pratique prolongée d'une activité peut conduire au développement de processus automatisés qui vont considérablement alléger la demande attentionnelle.

Dans le domaine de la conduite automobile, cette théorie permet également d'expliquer l'acquisition des compétences. En effet, plus l'expérience de conduite augmente et plus la tâche de conduite est facile. La pratique confère les habiletés nécessaires à la réalisation automatique des sous-tâches sensori-motrices fondamentales à l'activité de conduite. L'automatisation de ces sous-tâches permet une rapidité de traitement en un minimum d'effort. Le conducteur peut gérer simultanément plusieurs sous-tâches avec un recours moindre à ses ressources attentionnelles. L'activité de conduite devient alors plus sûre et moins coûteuse en attention. Une aisance qui octroie au conducteur du temps pour faire correctement face aux situations rencontrées. Toutefois, lorsque les situations sont nouvelles et que les processus automatiques ne suffisent pas, c'est-à-dire que leur mise en jeu ne correspond pas à la situation ou que le sujet a des difficultés à les mettre en place, l'individu doit exercer un contrôle cognitif pour mener à bien la tâche envisagée. Schneider et Shiffrin (1977) ont ainsi mis en avant quatre principales différences entre processus automatiques et processus contrôlés (tableau 1).

	Un traitement (ou processus) automatique	Un traitement (ou processus) contrôlé
1)	Est d'exécution rapide	S'effectue relativement lentement
2)	Se réalise sans intervention de la conscience Est non intentionnel Ne peut être interrompu une fois qu'il a été amorcé ; il est irrépressible Est incontrôlable en cours d'exécution	Est contrôlé consciemment pour son déclenchement, son exécution et son interruption Est intentionnel Contrôlé et contrôlable tout au long de son exécution
3)	Consomme peu de ressources cognitives en MDT Nécessite un faible effort cognitif	Consomme une grande partie des ressources en MDT ; Nécessite un effort cognitif important
4)	Permet à d'autres traitements d'être réalisé en parallèle, dans la limite des ressources disponibles	Ne permet pas l'exécution en parallèle d'autres traitements, s'il est trop coûteux

Tableau 1: Principales caractéristiques des traitements automatiques et contrôlés

Source : Production propre à partir de Chanquoy et al. (2007)

Les processus automatiques sont mis en place involontairement et une fois installé ils sont irrévocables. Il est difficile voire impossible de les supprimer. Ils restent inchangés quelle que soit la situation. Ils n'interfèrent avec aucune activité mentale et laissent intactes les capacités mentales (Schneider & Schiffrin, 1977). Un traitement contrôlé, quant à lui, se met en place lentement puis se déroule de manière sérielle. Ce type de processus exige un effort cognitif et est limité par la capacité centrale du système de traitement. Aussi, lorsque la tâche à réaliser se complexifie et/ou lorsqu'elle nécessite une rapidité d'exécution, les performances se détériorent et la précision diminue. Dans ce cas, l'automatisation peut apporter un avantage particulier lors de situations complexes (Schneider et al. 1984). En effet, les ressources libérées par l'automatisation peuvent entièrement être affectées aux processus contrôlés. De cette manière, il n'y aura moins de concurrence pour les informations à traiter. C'est ainsi que les processus contrôlés, nécessaires aux sous-tâches cognitives de l'activité de conduite, peuvent avoir une qualité de traitement optimale. Ainsi, plus les sous-tâches sont automatisées, plus la répartition des ressources attentionnelles

est susceptible d'être adaptée aux situations rencontrées. Aussi, dans un environnement non familier, les automatismes seuls ne sont pas suffisants. La mise en place des processus contrôlés est importante puisque c'est par son intermédiaire qu'est comprise la situation et qu'une réaction adéquate à l'évolution de l'environnement peut avoir lieu.

Durant un trajet, le recours à ces processus évolue en fonction de la familiarité du conducteur avec les sous-tâches de conduite. Par exemple, l'action sur les commandes du véhicule sera effectuée le plus souvent de façon automatique et demandera peu de ressources attentionnelles à un conducteur expérimenté. A l'inverse un conducteur novice exercera un contrôle cognitif pour passer correctement ses rapports de vitesse. A ce sujet, Perruchet (1988) précisait que « *l'activité de conduite est une habileté cognitive acquise avec l'expérience où l'on distingue à la fois une composante automatisée, telle que la gestion des commandes et une composante plus attentionnelle telle que l'analyse de la situation* ».

La théorie des exemplaires « *Instance theory* » de Logan (1988) postule que le développement des automatismes provient de l'accumulation d'éléments spécifiques à une tâche / situation donnée au travers de l'apprentissage. L'automatisation serait « *un phénomène construit comme l'acquisition d'une base de connaissances spécifiques à un domaine, dans laquelle des représentations séparées se formeraient à chaque nouvelle exposition à une même tâche. Un traitement serait automatique s'il est relié à la récupération des représentations stockées, n'apparaissant qu'après un certain niveau de pratique* » (Chanquoy et al. 2007). Selon la théorie de Logan (1988), il n'y a pas d'exemple de situations généralisées mais des exemplaires de chaque situation seraient stockés en mémoire. Les réponses répétées pour une même stimulation permettraient à l'individu de stocker un ensemble considérable de connaissances sur cette stimulation (façon de la traiter, réponse à apporter, etc). Cette connaissance, stockée en mémoire à long terme, permettrait la généralisation de certains automatismes. L'automatisation correspondrait à la récupération directe de données en mémoire. « *Les performances deviennent automatiques quand elles se basent sur un accès direct aux solutions stockées pour résoudre un problème* » (Chanquoy & Negro, 2004; Logan, 1988). Les performances liées à un processus automatique correspondent à des éléments spécifiques dans la mémoire, tandis que les performances non automatiques sont basées sur des règles procédurales. Quand on développe des processus automatiques, certaines règles explicites de traitement sont progressivement abandonnées et le conducteur fait de plus en plus référence à des exemples connus pour traiter les données. Les automatismes correspondent ainsi à des schémas d'activation précédemment mis en jeu lors du traitement d'une information semblable. Aussi, pour une tâche donnée, la mise en place de ces processus différera selon le degré d'apprentissage du conducteur. La rapidité du traitement sera dépendante notamment du niveau de construction de ses modèles mentaux.

Après la pratique prolongée d'une tâche donnée, une réponse appropriée est conservée en mémoire et récupérée automatiquement lorsque la tâche se présente de nouveau. La rapidité de traitement, souvent mise en avant est, dans ce cas, expliquée par le fait que l'individu récupère une solution prête en mémoire. Ces traitements sont considérés comme étant inconscients car il n'y a pas de traitement entre le stimulus et la réponse appropriée. La pratique augmente la quantité et la vitesse de récupération des instances. L'automatisation réduit ainsi la charge de travail, car le traitement se ferait sans effort conscient (Chandler & Sweller, 1996).

Ainsi, pour un novice, chaque situation est nouvelle et demande davantage de ressources attentionnelles. Les conducteurs novices n'ont pas encore construit de représentations et d'images mentales en raison de la faible quantité de situations

précédemment rencontrées. C'est au cours d'un processus complexe d'acquisition que se sont apprises les principales caractéristiques de la tâche. Il s'agit, entre autres de la prise et de l'encodage de l'information, de la sélection et de l'exécution de la réponse. Ainsi, la performance des experts diffère de celle des novices par une plus grande vitesse et une plus grande précision, un développement plus important d'automatismes.

Conclusion

La présentation des théories de l'attention nous a permis de rappeler que l'action des processus attentionnels ne se résume pas simplement à une gestion de la répartition des ressources attentionnelles. Les processus attentionnels régulent le fonctionnement de la chaîne de traitement de l'information. L'objet du paragraphe suivant sera d'expliquer la manière dont une information est traitée. Comment une information, simple élément de l'environnement, prend un sens pour l'individu et lui permet de prendre une décision. Au cours de ce chapitre nous expliquerons ces étapes et nous ferons des parallèles avec le traitement de l'information des conducteurs automobiles. Nous verrons ainsi comment un conducteur automobile perçoit les éléments de l'environnement routier et comment il les traite pour effectuer ses manœuvres et mener à bien son activité de conduite.

1-2/ Traitement de l'information

L'approche cognitive du traitement de l'information fait suite à la théorie de la communication développée par Shannon et Weaver (1949) dont l'objectif était de régler les problèmes de transmissions télégraphiques. Cette théorie suppose un modèle linéaire simple où la communication est réduite à une simple transmission d'un message d'un point source vers une destination donnée. Selon ce modèle, une transmission parfaite suppose que le signal émis arrive chez le destinataire dans le même état que l'état d'origine. Toutefois, ce modèle reste simpliste et linéaire, il ne précise pas les étapes ni les rétroactions intervenant entre les entrées sensorielles et la sortie motrice. Les recherches visent désormais à déterminer les étapes intervenant entre ces deux pôles afin de relater le cheminement complet du traitement de l'information. Il s'agit de s'appuyer sur différents mécanismes perceptivo-cognitifs consécutifs qui opèrent par stade et au travers desquels une information est transformée (Wickens, 1992). Quatre étapes sont identifiées allant de la perception, de la sélection de réponse, de la prise de décision vers l'exécution d'une réponse (Ranney, 1994). Ces différentes étapes successives sont représentées dans la figure 1.

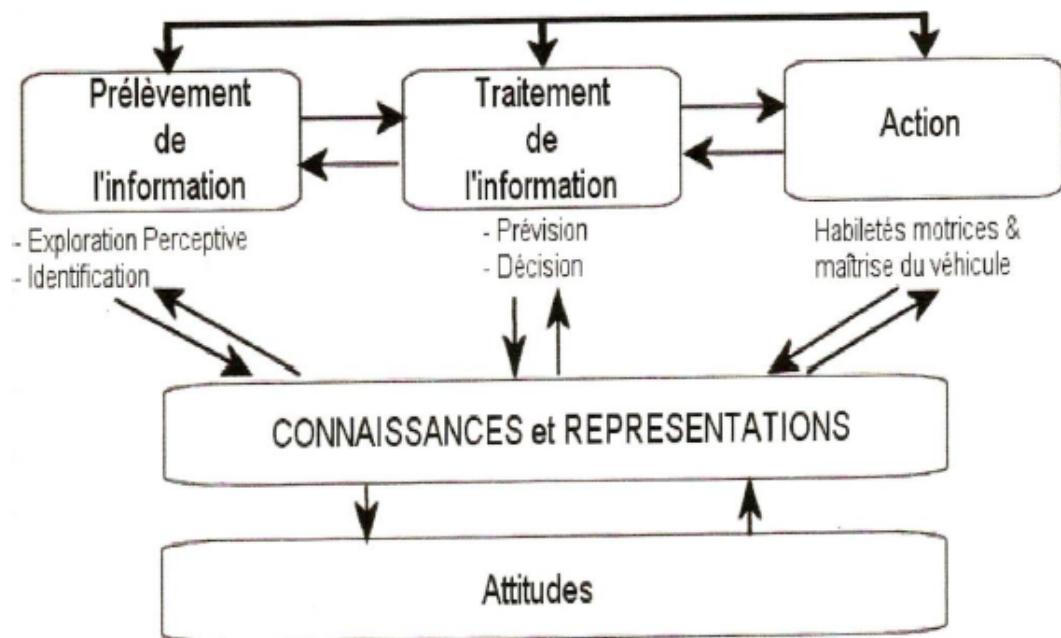


Figure 1: Les activités cognitives mises en jeu dans la conduite

Source : Schéma tiré de Bailly (2004)

1-2-1/ Rôle de la perception dans le traitement de l'information

Avant la mise en place des processus cognitifs de hauts niveaux, le système de traitement de l'information procède à une exploration perceptive de l'environnement. Dans notre champ de recherche, le conducteur doit extraire de l'environnement routier des informations qui lui permettront de prendre des décisions sur les manœuvres à effectuer. Cette phase est considérée comme la plus importante dans la chaîne du traitement de l'information puisque le déclenchement des phases suivantes dépend de celle-ci. Toutefois, nous exposerons brièvement la phase de perception, le paragraphe 3-5 présentera de façon plus détaillée les caractéristiques de l'exploration visuelle, selon que le conducteur est expérimenté ou novice.

L'environnement routier regorge d'éléments présents qui imposent une sélectivité de l'information de la part du conducteur. Dans ce contexte, les processus de rehaussement des informations pertinentes et d'inhibition des informations distractrices sont continuellement en action. L'efficacité de ces deux processus assure le tri et la sélection des informations. Chez les conducteurs novices, la perception est imprécise. L'inexpérience est caractérisée par une recherche d'informations limitées. Ces conducteurs ont tendances à concentrer leurs regards sur les zones proches du véhicule et sur les commandes. C'est l'expérience de conduite qui fournira au conducteur les compétences essentielles pour orienter sa recherche d'information vers les indices importants liés à l'interaction conducteur-véhicule-environnement. L'exploration perceptive, en devenant anticipatrice, reste toutefois influencée par trois facteurs : les facteurs liés aux stimuli (environnement), les facteurs liés au conducteur et ceux liés à l'activité de conduite. Les facteurs liés aux propriétés des stimuli réfèrent aux caractéristiques optiques de la stimulation présente dans le champ visuel (Neboit, 1980). Le regard du conducteur est attiré soit par la saillance du stimulus soit par les mouvements de l'élément repéré par la vision périphérique.

L'expérience du conducteur influence également l'exploration visuelle. Plus le conducteur est expérimenté, plus « *l'exploration visuelle se transforme et devient plus efficace, plus sélective, portant sur les éléments les plus pertinents de la tâche* ». Enfin, l'exploration visuelle dépend de la tâche (Neboit, 1980). « *Les variations de complexité de la tâche donnent lieu à des explorations visuelles différentes et spécifiques. Aussi, lorsque l'activité de conduite nécessite de mettre en jeu des mécanismes cognitifs importants, le poids des propriétés physiques des stimuli est faible par rapport au poids du programme d'exploration déterminé par le contenu cognitif de la tâche sur l'exploration visuelle* » (Neboit, 1980). En effet, si le conducteur sait quelle information il doit rechercher et vers quel but il doit tendre, les effets d'une éventuelle distraction seront minimes, que la source de distraction soit saillante ou non.

Pour résumer, durant un trajet, un conducteur automobile doit extraire les éléments pertinents de l'environnement afin de les traiter pour prendre une décision appropriée. Pour cela, le système de traitement de l'information à recours à différents systèmes de mémoire et opérera à l'aide des connaissances que le conducteur a emmagasinées. Nous expliquerons en profondeur ces derniers points lors des paragraphes suivants. Il s'agira de montrer comment et pourquoi le système de traitement de l'information s'appuie sur un système de mémoire. Nous verrons par la suite le rôle des connaissances et enfin nous terminerons par la manière dont l'échelle de prise de décision intervient pour arriver à l'exécution de l'action.

1-2-2/ Rôle de la mémoire dans le traitement de l'information

Le terme de mémoire réfère à un système complexe où plusieurs mécanismes interviennent. Ces mécanismes couvrent des durées de stockage variables allant d'une seconde à une durée illimitée telle que la durée d'une vie complète, excédant ainsi la capacité des ordinateurs les plus puissants.

Ainsi, pour étudier les processus mentaux (processus internes et non perceptibles), les psychologues cognitivistes au cours des années 60 ont adopté et adapté la théorie du traitement de l'information. La référence à cette théorie suppose un « flux » c'est-à-dire un transfert des informations stockées d'un registre à un autre. Selon cette théorie, l'information en provenance de l'environnement est appréhendée par différentes structures cognitives qui vont la traiter de manière à ce qu'elle soit intégrée dans le système cognitif. Les chercheurs des années 50 et 60 considéraient l'homme comme un système naturel de traitement des informations. Aussi pour identifier les composantes du système cognitif humain et tenter de comprendre comment ce dernier traite les informations qui lui parviennent, les chercheurs se sont fortement inspirés de la structure des ordinateurs et ont proposé la métaphore du « cerveau ordinateur ». En s'appuyant sur cette métaphore, ils ont identifié différents supports de transmission des stimuli environnementaux ; selon qu'il s'agisse de stimulation visuelle, auditive, tactile, olfactive ou encore gustative. La saisie des informations ne peut se faire seulement par l'intermédiaire des récepteurs sensoriels qui sont considérés comme les mécanismes d'entrée du système de traitement de l'information. Par la suite, pour que l'information sensorielle donnée puisse être traitée, il est impératif qu'elle soit conservée un court instant dans le « registre d'information sensoriel » (RIS) qui est un registre à court terme. Selon la métaphore de l'ordinateur, la fonction du processeur de l'ordinateur correspondrait à celle de la mémoire à court terme (MCT) ou mémoire de travail (selon les théories) pour l'homme. La base de données correspond au contenu de la mémoire à long terme (MLT). Ne pas oublier que le système de traitement dispose d'un système de sortie

qui correspond à la manifestation des activités mentales et qui conduit à l'exécution d'une action.

Ces différents systèmes ainsi que leur rôle feront l'objet des paragraphes suivants. Avant de rentrer dans le détail de chacun de ces systèmes, il nous paraît primordial de présenter le modèle fondateur. En effet, le modèle « modal » suggéré par Atkinson et Shiffrin (1968) correspond au modèle théorique le plus élaboré, le plus influent et le plus complet. Il constitue une référence dès lors que l'on invoque une pluralité de système de mémoire.

1-2-2-1/ Le modèle « modal » d'Atkinson et Shiffrin (1968)

Architecture du modèle

Atkinson et Shiffrin (1968) ont distingué deux aspects du système de mémoire (figure 2) :

- Les *aspects structuraux* qui correspondent aux caractéristiques structurales permanentes du système mnésique. L'information en provenance du monde extérieur est tout d'abord traitée en parallèle dans le registre sensoriel (RIS). Les informations y sont brièvement stockées sous leur forme d'origine (visuelle, auditive, olfactive...) sans analyse particulière. L'information ou une partie de cette information est sélectionnée pour être traitée et encodée. Pour cela, elle est transférée vers la mémoire à court terme (MCT) où elle y est provisoirement stockée compte tenu de la capacité limitée de stockage. Pour finir, cette information peut être transférée vers la mémoire à long terme (MLT) qui constitue un ensemble de connaissances.
- Les *processus de contrôle* complètent le modèle mnésique et sont nécessaires au transfert des informations d'un registre à l'autre. Ils peuvent être modifiables par le sujet ou utilisable de manière optionnelle selon les caractéristiques de la tâche. Il s'agit notamment du choix du codage des informations, des stratégies de récupération et de maintien de l'information via la répétition mentale et la recherche d'information en mémoire à long terme.

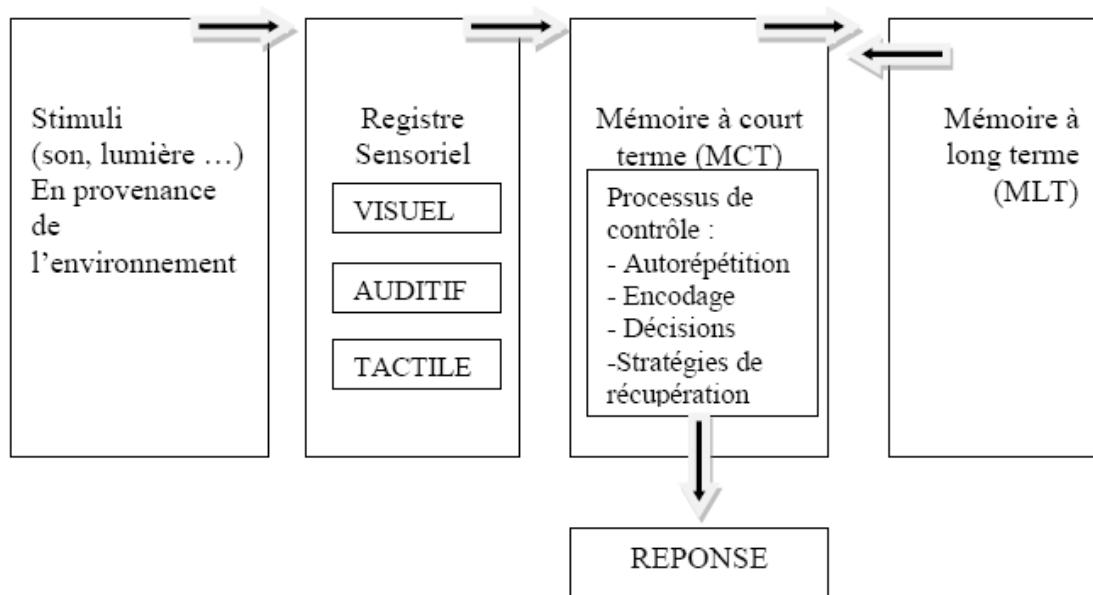


Figure 2: Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968)

Source : Production propre

Limites du modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968)

En dépit de son succès lié à sa simplicité et sa clarté, ce modèle modal est critiquable sur différents points. Tout d'abord, d'un point de vue théorique et fondamental, l'aspect sériel du modèle est remis en question par Craik et Lockhart (1972). Selon ces auteurs, la mémorisation d'un stimulus dépend du niveau de traitement qui lui est accordé. Plus un traitement est profond et élaboré, plus il sera facile de le rappeler ou de le reconnaître. Le transfert des informations de la MCT vers la MLT a été également remis en question. Selon le modèle modal, la reconnaissance et le codage du stimulus a lieu avant le transfert des informations vers la mémoire à long terme. Toutefois, ces deux activités supposent un recours à la mémoire à long terme pour procéder notamment à une mise en correspondance des informations nouvellement perçues et les informations déjà stockées en mémoire à long terme. Ainsi, on sera amené à présenter ce processus par un traitement en boucle entre MCT et MLT. Un aspect que ne prend pas en compte le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968).

De plus, la lecture linéaire est sujette à débat dès le début de la chaîne. A cet égard, l'étape de détection dépend des caractéristiques de l'environnement et surtout de la tâche à effectuer. Elle est orientée par les objectifs de la tâche. Pour qu'une information soit détectée, elle doit pénétrer dans le champ perceptif et attentionnel de l'individu qui ne procède qu'à une exploration partielle et finalisée de l'environnement (Bellet, 1998). Même si certaines informations s'avèrent très prégnantes et saillantes, le sujet peut les occulter au profit d'informations, certes d'intensité moindre, mais plus précises et plus pertinentes pour lui. Grâce à ses connaissances, les informations seront attendues et traitées de manière privilégiée. La prise et le traitement de l'information sont ainsi dirigés par les concepts et les données. Ce sont ces mécanismes de hauts niveaux qui influencent la détection des informations. Le modèle modal ne rend pas véritablement compte de cet état de fait.

Toutefois, le modèle modal a inspiré d'autres modèles du traitement de l'information avec la mise en évidence des étapes successives entrant dans le processus de traitement de l'information à savoir l'étape de détection, d'identification, d'interprétation pour aboutir à l'exécution de l'action (Neboit, 1980; Van Elslande et al. 1997).

La présentation du modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968) nous a permis d'avoir une approche globale du système de mémoire. Nous allons maintenant expliquer les différents mécanismes mnésiques existant.

1-2-2-2/ La pluralité des mécanismes mnésiques

Le registre d'informations sensorielles (RIS)

Le Registre d'Informations Sensorielles (RIS) correspond au traitement perceptivo-sensoriel au cours duquel l'information est maintenue pendant une durée très brève, généralement inférieure à une seconde (on dit qu'elle est de l'ordre d'une demi-seconde). Il enregistre les stimulations provenant des récepteurs sensoriels (visuels, auditifs, tactiles, olfactifs...). Le RIS est considéré comme la première étape de stockage de l'information et intervient dès l'apparition d'une stimulation. La stimulation est enregistrée selon ces caractéristiques propres (visuelles, auditives...). On retrouve dans ce registre une image quasi parfaite de l'information parvenue aux organes sensoriels, laquelle permet l'extraction et l'identification de ses caractéristiques. Par la suite, la trace sensorielle correspondante décline rapidement.

La mémoire à court terme (MCT)

La mémoire à court terme est souvent qualifiée de mémoire tampon pour le transfert des informations en MLT. Une fois les stimulations perçues, La MCT va recevoir les données en provenance du RIS mais seules les informations sur lesquelles l'attention aura été portée seront transférées. Les informations récupérées depuis la MLT ou en provenance du RIS sont maintenue pendant une durée limitée. Le maintien de l'information n'excède pas trente secondes avec un nombre d'informations maintenues limité. La MCT est considérée comme une mémoire temporaire dont la capacité de stockage est limitée à sept plus ou moins deux unités mnésiques (Miller, 1956). Une unité mnésique n'est pas un élément fixe, elle peut constituer un item (un chiffre, une lettre, un mot, un dessin...) ou un regroupement d'items appelé « Chunk ».

L'information est maintenue en MCT par le biais de trois types de traitement de contrôle : *l'autorépétition* qui permet d'augmenter la durée de rétention et est supposée permettre le renforcement de la trace construite en MLT, le mécanisme d'*encodage* qui assure le transfert en MLT et enfin le mécanisme de *récupération* qui permet l'activation et le transfert en MCT d'informations contenues en MLT.

Lorsque l'on effectue une tâche complexe (résolution de problème par exemple), le rôle et l'action de la MCT s'avère quelque peu critiquable. On ne peut plus se contenter de lui attribuer une simple activité de stockage des informations en provenance du RIS ou de la MLT. La MCT peut, si la situation le demande, opérer un traitement sur les informations stockées. Le concept de MCT a ainsi évolué vers celui de Mémoire De Travail (MDT) afin de rendre compte de l'aspect dynamique et fonctionnel de la MCT.

Limites de la mémoire à court terme et évolution vers le concept de mémoire de travail

Le développement de la psychologie cognitive a conduit à étudier et préciser le rôle de la mémoire dans le fonctionnement du système cognitif. En effet, comme nous venons de le dire, lors de la réalisation des tâches complexes, le rôle de la MLT ne peut se restreindre à une simple fonction de stockage d'informations. En effet, les tâches de raisonnement ou encore de résolution de problème nécessitent un cheminement d'étapes qui risque d'être contraint par cette simple capacité temporaire de stockage de l'information. Les informations maintenues doivent subir un traitement pour répondre aux besoins de ces activités. Cela suppose de se souvenir du but, de la ou des consignes, des résultats intermédiaires, de toutes les informations nécessaires à l'exécution correcte du problème. De là est né le concept de MDT avec ses doubles fonctions à savoir le traitement des données et le maintien temporaire du résultat des opérations effectuées sur ces données.

De plus, des études ont montré que les capacités de la mémoire à court terme étaient peu ou pas en rapport avec les performances réalisées lors d'activités complexes. Le positionnement de la MDT dans le système cognitif n'est pas unanime et il existe deux orientations théoriques pour la situer (Chanquoy et al. 2007). (1) La MDT est considérée comme un système distinct de la MLT. On la considère ainsi soit comme un système unitaire et général telle la présentation du modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968) soit comme un système hiérarchique constitué de différents composants spécifiques à des activités cognitives (langage, résolution de problème, etc..) en se basant sur le modèle de Baddeley (1986). (2) La MDT correspond à une partie temporairement activée de la MLT (Cowan, 1988). La capacité de la MDT est également sujette à caution et les théories divergent quelque peu. Pour certains (1) la capacité de la MDT est générale et est indépendante de

la nature du traitement à mettre en œuvre (A. Baddeley, 1986). Pour d'autre, (2) la capacité de la MDT dépend d'un groupe de tâches (Daneman & Carpenter, 1980) ou de certaines activités cognitives (Daneman & Tardif, 1987).

La conception de Baddeley et Hitch (1974) reste la modélisation la plus citée et est la première à avoir identifier un système mnésique autre que la mémoire à court terme.

Le modèle de Baddeley et Hitch (1974) :

Le modèle de la MDT élaboré à la base par Baddeley et Hitch (1974) puis développé par Baddeley (1986) reste le modèle prédominant. Ce modèle apporte une description détaillée des structures cognitives dans le maintien temporaire de l'information. Il apporte un élément supplémentaire au modèle de Atkinson et Shiffrin (1968) en proposant une structure tripartite comprenant un administrateur central assisté de deux sous systèmes ou systèmes esclaves : l'ardoise visuo-spatiale et la boucle phonologique (figure 3).

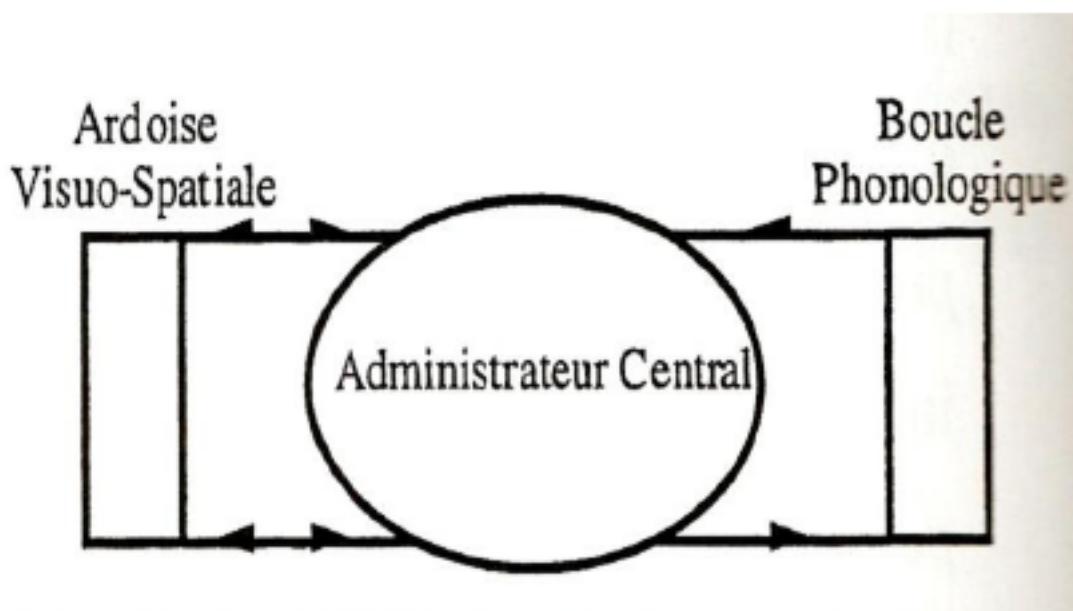


Figure 3: La mémoire de travail (MDT)

Source : schéma tiré de Bellet (1998)

(1) le concept *d'administrateur central* de la mémoire de travail est un concept utile pour désigner les caractéristiques attentionnelles de la mémoire de travail ainsi que ses liens avec la mémoire à court terme. L'administrateur central correspond à la composante attentionnelle du système qui répartit les ressources attentionnelles et régule le flot d'informations en MDT. Il assure le contrôle des opérations de traitement. Pour cela, il sélectionne les stratégies cognitives, coordonne le traitement et le stockage des informations. Il aide à la récupération d'informations en MLT. Depuis les publications de 1992, Baddeley propose une description de l'administrateur central largement inspirée du modèle de Norman et Shallice²(1980) qui concerne le rôle de l'attention dans le contrôle

² Selon le modèle de Norman et Shallice (1980), la plupart des processus cognitifs sont initiés par des schémas préexistants, qui sont activés automatiquement par des priorités internes et des indices environnementaux. Beaucoup de séquences d'actions peuvent donc se dérouler efficacement et de façon cohérente en l'absence d'attention délibérée. Pourtant, lors de cas particuliers, les processus automatiques se heurtent à des difficultés par exemple, quand la situation est jugée dangereuse ou difficile techniquement, chaque fois que des séquences d'actions nouvelles ou peu apprises doivent être suivies, quand le « plan » d'action défini doit être

de l'action. Il suggère ainsi que l'activité peut être contrôlée selon deux modes différents : l'un automatique et l'autre contrôlé. Le mode de contrôle automatique assure le bon déroulement des programmes d'activités routinières et maîtrisées (par exemple la marche). Ce mode intervient également lorsqu'il s'agit d'effectuer plusieurs activités en parallèles pour notamment éviter une surcharge du système. Le mode attentionnel est quant à lui activé lorsque le mode de contrôle automatique est inefficace et que le traitement nécessite d'être de haut niveau (cf. 1.1.3).

(2) La *boucle phonologique* est spécialisée dans le traitement du matériel verbal et de la parole dont elle permet le stockage et la manipulation (Gathercole & Baddeley, 1993). Ce sous-système de la MDT a fait l'objet d'un nombre important de recherches et un nombre non négligeable de données empiriques à son sujet existe. La boucle phonologique est constituée d'un *registre de stockage* passif de l'information verbale dont la capacité est limitée. En effet, les informations verbales sont reçues et stockées sous formes de codes phonologiques pendant une durée très brève. Les représentations mnésiques phonologiques maintenues dans ce registre sont amenées à décliner passivement en moins de deux secondes. Un *processus d'autorépétition subvocale* (ou récapitulation articulatoire également appelé « langage intérieur » ou *inner speech*) est destiné à maintenir l'information verbale en mémoire. Il est responsable du rafraîchissement de l'information contenue dans le registre de stockage en la réactivant de façon cyclique afin d'éviter le déclin de cette information. De plus, il permet à un stimulus visuel d'être converti en un code phonologique.

Cette fonction a été mise en évidence par le biais de données expérimentales, notamment au travers des effets de suppression articulatoire (l'empan mnésique est réduit lorsque le sujet doit, simultanément à l'encodage de l'information, répéter un terme sans signification) et de longueur des mots (le nombre de mots pouvant être retenu est fonction de leur durée de prononciation). L'évaluation de la fonction de stockage de la MDT dépend notamment de l'effet du discours entendu et non écouté (*irrelevant speech effect*, (Neath, 2000)) et de l'effet lié à la similarité phonologique des items (une liste de mots est d'autant plus difficile à mémoriser que ces mots se ressemblent phonologiquement (Conrad & Hull, 1964)). L'effet du discours entendu et non écouté est perturbé par l'audition de mots autres que ceux à retenir, même si le sujet est libre de les ignorer. Cela montre que l'empan de la MDT est réduit lorsqu'une tâche de mémoire est effectuée en même temps qu'un discours est entendu.

(3) *l'ardoise visuo-spatiale* a été moins étudié que la boucle phonologique car il est plus délicat de mener des expérimentations permettant d'appréhender le fonctionnement de ce sous-système. Elle dispose d'une double fonction à savoir 1) le maintien et le traitement des informations visuelles et spatiales ainsi que 2) la création et la manipulation d'images mentales. Elle est alimentée soit par des informations provenant de la perception visuelle soit indirectement par la production d'images à partir de l'information verbale contenue dans la boucle phonologique. L'ardoise visuo-spatiale dispose de deux sous-systèmes. Le cache visuel (*visual cache*) stocke passivement les informations visuelles. Il est sensible à l'arrivée de nouvelles informations et son contenu disparaît rapidement s'il n'est pas rafraîchi. Ce rafraîchissement correspond alors aux fonctions du second sous-système à savoir le scribe interne (*inner scribe*). Ce dernier est destiné à rafraîchir et à manipuler les informations provisoirement stockées dans le cache visuel.

Le modèle de Baddeley (1986) présente certaines limites. Malgré son aspect novateur et pionnier, il est fortement inspiré du modèle de Norman et Shallice (1986) et n'apporte modifié, ou encore quand des réponses habituellement fortes sont contrariées ou empêchées. Il existe alors deux niveaux de contrôle de l'action : l'un automatique et l'autre contrôlé.

que peu d'éléments complémentaires. De plus, en raison de l'absence de relation entre le maintien à court terme des informations et la résolution des problèmes complexes, il semble difficile de décrire les activités cognitives complexes à l'aide de ce modèle.

D'après ce modèle, la mémoire de travail correspond à une zone temporairement activée de la MLT, ce qui met en avant la notion d'activation. Cette notion d'activation présente la mémoire comme un réseau de différentes unités interconnectées (à savoir les représentations) que l'on appelle également les « nœuds » du réseau. Un nœud est défini par une ou plusieurs propriétés correspondant à différentes types de relations. Le fonctionnement de la mémoire est défini en termes d'activation de ces nœuds et de transmission de cette activation aux nœuds voisins et suivants. La présentation d'une information (objet, événement, action, mot) déclenche l'activation automatique des unités de connaissances (ou de représentations) correspondantes en mémoire. La notion d'activation sera mise en avant dans le paragraphe consacré à la mémoire à long terme.

La mémoire à long terme (MLT)

Les connaissances dont nous disposons sont variées, certaines dépendent du contexte dans lequel elles ont été acquises et d'autres dépendent de contextes particuliers. La notion de mémoire à long terme renvoie à notre capacité à conserver des informations stable et à les réutiliser longtemps après les avoir acquises. Contrairement à la mémoire à court terme, l'accès à l'information en MLT se fait de façon parallèle c'est-à-dire que nous pouvons accéder à plusieurs informations simultanément. Le mécanisme de base qui permet la disponibilité des informations à un moment donné est l'activation. Cette activation recouvre la disponibilité de l'information pour la tâche en cours mais ne correspond pas au souvenir conscient de cette information.

Dans ce contexte, le modèle ACT* (*Adaptive Control of Thought*) d'Anderson (1983) est tout particulièrement intéressant pour notre propos. Il s'agit en effet non seulement d'un modèle s'appuyant sur le concept de mémoire de travail mais également et surtout car cette théorie porte sur une distinction fonctionnelle entre l'activité mentale d'un individu novice et l'activité mentale d'un individu expert face à une situation donnée. Les novices résolvent les problèmes en utilisant des méthodes générales exploitant la mémoire déclarative alors que les experts peuvent exécuter des productions spécifiques à leur domaine d'expertise. Celles-ci sont alors déclenchées automatiquement dès lors que les conditions correspondantes sont remplies.

On retrouve dans le modèle ACT* les principaux aspects des systèmes de production à savoir un système de représentation des connaissances, une activité mentale dirigée vers un but et une mémoire de travail (interface entre ces deux éléments). C'est ainsi que l'on peut définir son architecture selon trois systèmes mnésiques : une mémoire déclarative, une mémoire procédurale et une mémoire de travail. La *mémoire déclarative* correspond à un réseau de concepts / de nœuds interconnectés. Elle stocke des informations conceptuelles (images spatiales, schémas) organisées sous la forme d'un réseau associatif. Les nœuds de ce réseau peuvent avoir différents niveaux d'activation c'est-à-dire que le niveau d'activation d'un concept détermine la probabilité qu'il soit exploité ou non. L'information stockée n'est pas liée à une situation spécifique, elle est récupérable et peut être exprimée sous forme verbale. La *mémoire procédurale* correspond à un stock d'actions potentielles et se présente sous la forme de règles de production. L'application de chacune des règles propre à des situations spécifiques est automatique lorsque la situation adéquate se présente. La description verbale n'est pas possible. La *mémoire de travail* contient ainsi des représentations du monde actuel ou de la situation donnée. Elle met en relation les registres

déclaratif et procédural de la MLT. Elle est constituée d'informations en provenance de la mémoire déclarative, récupérées en fonction des besoins de l'activité mentale en cours. Les informations récupérées conduisent à un appariement entre les informations désormais stockées dans la mémoire de travail et les règles de productions stockées en mémoire procédurale. Cet appariement vise à déterminer l'action pertinente pour la situation actuelle.

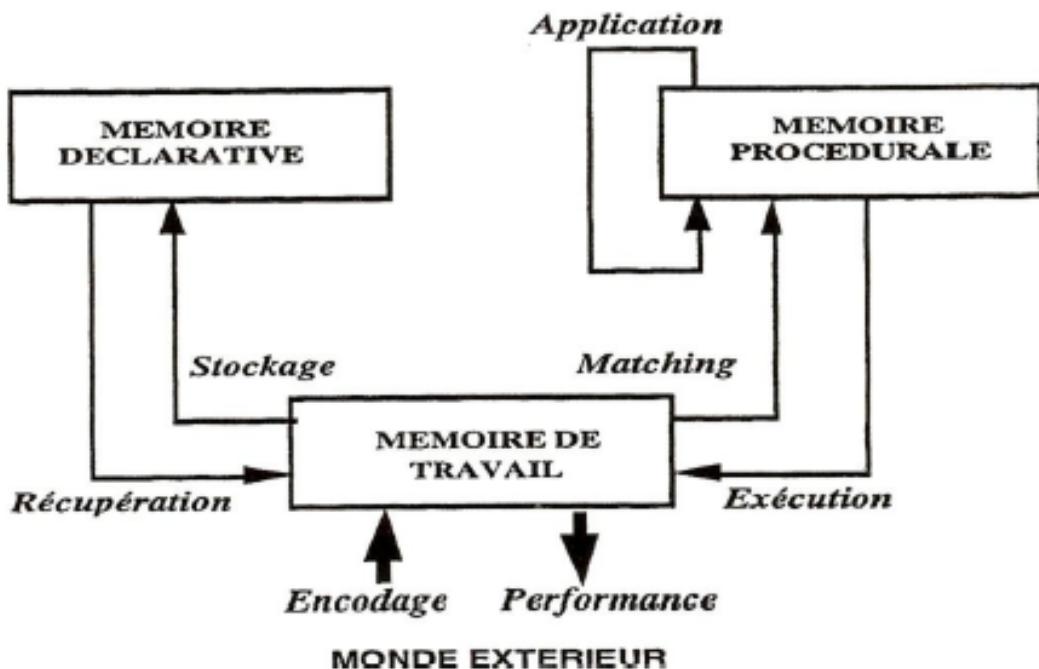


Figure 4: Le modèle ACT*

Source : schéma tiré de Bellet (1998)

Le fonctionnement de ce modèle est relativement simple et repose sur quatre mécanismes. Le *stockage* de nouvelles informations c'est-à-dire la création et la mémorisation de nouvelles représentations en mémoire de travail. La *récupération* d'informations en provenance de la mémoire déclarative, le *matching ou appariement* qui permet de comparer le contenu de la MDT avec les prémisses des règles de productions stockées en mémoire procédurale (comparaison entre les informations activées en MDT et les informations contenues dans la MLT). Enfin, l'*exécution* qui correspond au transfert de connaissances entre la MDT et la MLT, conduisant ainsi à l'élaboration de nouvelles règles de production.

Pour être effectif, le système de mémoire, nécessite d'être alimenté. Lorsque l'on est amené à traiter une information, on se réfère aux données stockées en mémoire. Ces données correspondent aux connaissances dont dispose l'individu, à savoir tout ce qu'il sait et a acquis. C'est pour cette raison, que nous consacrerons le paragraphe suivant aux rôles des connaissances dans le traitement de l'information. Nous reviendrons sur une présentation des connaissances avant de présenter un modèle incontournable basé sur les connaissances et les représentations, à savoir le modèle de la conscience de la situation de Endsley (1995).

1-2-3/ Rôle des connaissances dans le traitement de l'information

1-2-3-1/ Présentation

Si l'on se réfère au modèle ACT* de John Robert Anderson (1983), les connaissances peuvent être scindées selon deux types : les connaissances déclaratives, relatives à ce que nous connaissons, et les connaissances procédurales relatives au savoir-faire et qui définissent l'action à suivre en fonction des situations rencontrées. Ces deux grandes catégories de connaissances vont nous permettre de mieux comprendre le rôle des connaissances dans le traitement de l'information. Il est évident que plus on dispose de connaissances plus les performances pour une tâche donnée sont satisfaisantes. En effet, un stock de connaissances suffisant génère la construction de modèles mentaux des situations qui sont essentiels au déroulement d'une action car ils correspondent aux mécanismes par lesquels nous sommes capables de générer la description de notre environnement. Les modèles mentaux aident ainsi à la compréhension et fournissent la procédure à suivre pour évoluer dans un environnement ou effectuer une tâche donnée. Ils sont les garants de la rapidité du traitement et de l'exécution d'une action et améliorent l'anticipation.

Dans le cadre de la conduite, le dynamisme et la complexité de l'environnement routier impose une capacité permanente d'adaptation. Celle-ci suppose non seulement la compréhension des éléments perçus mais également la capacité de projeter les situations à venir (Endsley, 1991, 1995). Dans ce contexte, les connaissances du conducteur fournissent une représentation de la dynamique de l'environnement routier et aident à prédire la manière dont les scénarios de conduite vont évoluer. Comme nous l'avons spécifié précédemment, le traitement des informations nécessaire à la compréhension de la situation dépend directement des connaissances acquises au cours de l'activité de conduite. En effet, c'est en confrontant les représentations du conducteur aux éléments de la situation de conduite qu'un traitement automatique de l'information est possible (J Rasmussen, 1986). Ces connaissances orientent en outre l'attention du conducteur sur les éléments pertinents de l'environnement (Endsley, 1995; Rasmussen, 1986).

La construction de modèles mentaux est tributaire de l'expérience de conduite. En effet, lorsqu'une situation rencontrée présente des similitudes avec de précédentes situations, seul un conducteur expérimenté aura des facilités d'interprétations. Chez un conducteur novice, la construction de modèles mentaux fait encore défaut.

Nous nous baserons sur le modèle de la conscience de la situation de Mica Endsley (1995) pour expliquer le rôle des connaissances dans le traitement de l'information car il s'agit d'un modèle « dynamique » qui permet de prendre en compte l'acquisition des connaissances pour parvenir à une prise de décision. Ce modèle est dynamique car il prend en compte l'évolution de l'environnement. Concrètement, ce modèle intègre les notions de mémoire (cf. I-2-2) et d'expertise (la conscience de la situation dépend du niveau d'expérience d'un individu). De plus, ce modèle nous permettra de comprendre comment des défauts d'anticipations sont liés à une charge de travail, à un défaut d'attention ou à un manque d'expérience (Endsley, 1995). Ce modèle fournit également une base pour différencier les conducteurs. Les conducteurs doivent être capables, entre autres, de prédire les comportements des autres conducteurs, et d'anticiper l'évolution de la situation en se basant, par exemple, sur les manœuvres des véhicules environnants.

1-2-3-2/ Modèle de conscience de la situation de Mica Endsley

Le modèle de conscience de la situation (Endsley, 1988, 1991, 1995) est représenté comme un modèle mental interne basé sur la représentation de l'environnement. Ce modèle a tout

d'abord été introduit et développé lors de recherches portant sur des pilotes d'avion. Par la suite, ce modèle a été étendu à différents domaines tels que l'éducation, les prévisions météorologiques ou encore l'activité de conduite (Endsley, 2000). A cet effet, Endsley (1988) décrit la conscience de la situation comme « *la perception d'éléments dans l'environnement avec un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur états dans un futurs proches* » (Endsley, 1988). La conscience de la situation fait ainsi référence aux connaissances dont le sujet dispose sur l'environnement, qu'il soit dynamique ou non. En d'autres termes, la conscience de la situation, c'est savoir ce qu'il se passe et ce qu'il se passera autour de nous (Endsley, 1991, 2000).

Ainsi, quelle est spécifiquement l'action de la conscience de la situation lors de la gestion d'une situation ? Tout d'abord, la manière dont les informations sont présentées détermine la manière dont la situation sera traitée. C'est en fonction de la situation rencontrée, que l'adoption d'un modèle mental approprié sera effectuée afin de sélectionner des stratégies adéquates (Endsley, 1995). Il n'y a pas de modèle mental standard auquel on peut se référer quelle que soit la situation. C'est pour cette raison que des problèmes différents induiront une intégration différente de l'information. En effet, la manière dont un individu caractérise une situation et regroupe les informations influence l'orientation de son attention ainsi que le déclenchement de ses décisions. En l'absence de modèle mental adapté, les individus connaîtront des échecs lors de la résolution de nouveaux problèmes, et ce même si une logique similaire a été utilisée précédemment avec succès.

Aussi, pour une même entrée d'informations, la conscience de la situation pourra varier et sera tributaire des différences individuelles. Ce qui conduit Endsley (1995) à faire l'hypothèse selon laquelle la conscience de la situation est une fonction d'un mécanisme individuel de traitement de l'information influencée par l'expérience et par l'entraînement. En effet, une même image peut être vue différemment selon l'individu. Selon Ochanine (1978), « *l'image est un certain complexe informationnel rapporté à un objet. Il existe des possibilités de voir un même objet de différentes manières. Celui qui agit ne reflète pas pendant l'action un objet dans toute la complexité de ses propriétés, de ses attributions. Il actualise de son acquis informationnel les seules informations qui sont pertinentes, qui correspondent à l'objectif de l'action donnée* ». La construction d'un modèle mental pour une situation donnée montre les différences entre un individu expérimenté et un novice.

Le modèle de conscience de la situation proposé par Endsley (1988, 1995) suggère trois étapes (figure 5).

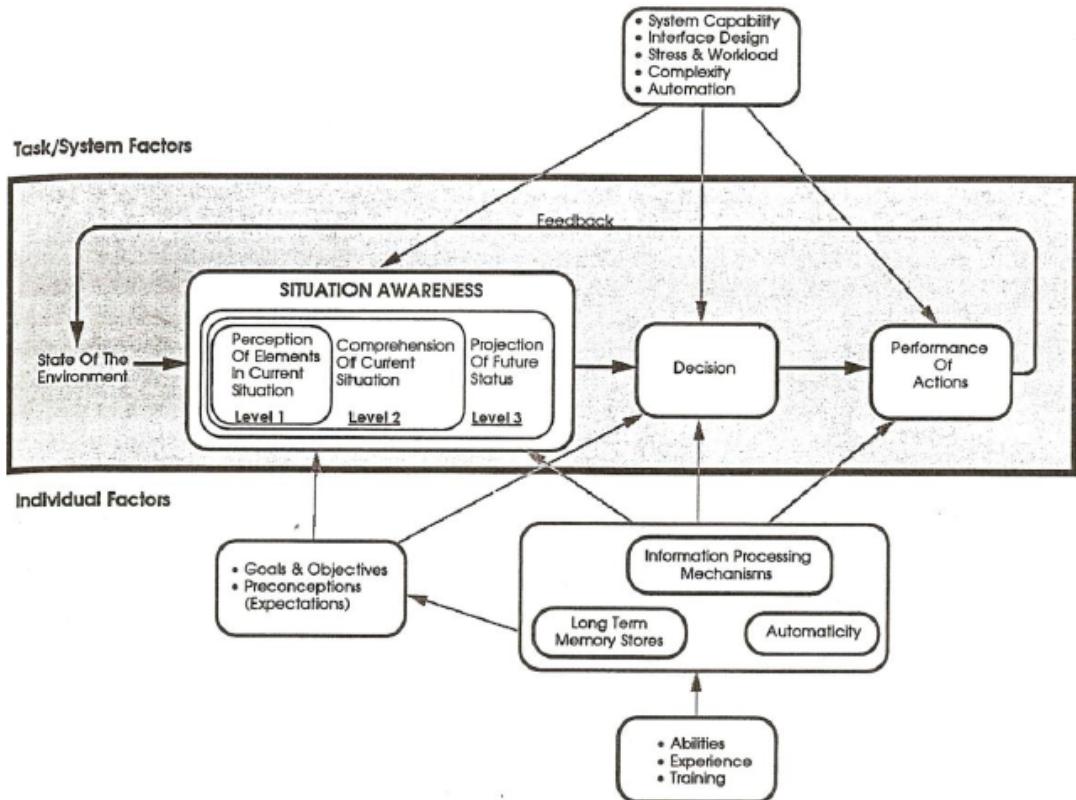


Figure 5: Conscience de la situation et prise de décision en situation dynamique

Source : Schéma tiré de Endsley (2000)

La première phase correspond à l'étape de *perception*. Il s'agit d'une étape importante car la formation d'une image mentale correcte dépend de la perception des éléments pertinents. Si l'on se réfère à l'activité de conduite, les éléments perçus à ce stade ne font l'objet d'aucune interprétation. Les conducteurs sont simplement conscients de la présence d'autres usagers et sont incapables de déterminer leur trajectoire future ou les risques potentiellement présents. Ici encore des différences entre conducteurs sont relevées : un conducteur expérimenté perçoit la situation de manière plus organisée qu'un conducteur novice. Le conducteur novice perçoit les indices indépendamment les uns des autres et n'effectue pas de lien entre eux.

Le second niveau correspond à l'étape de la *compréhension* durant laquelle les individus interprètent et maintiennent l'information. Lors de cette phase, l'individu s'appuie sur ses objectifs pour intégrer les multiples sources d'informations perçues à l'étape précédente. A la suite de cela, les différentes informations sont traitées en fonction de

leur pertinence. Dans le cadre de la conduite automobile, le conducteur pourra ainsi développer une compréhension des actions des autres usagers. A ce niveau les différences entre conducteurs se répercutent au niveau des capacités de la mémoire. Le conducteur expérimenté gère mieux sa mémoire (qu'il s'agisse de la mémoire à court terme ou à long terme) en filtrant ce qui est non pertinent et se concentre sur l'analyse qualitative de la situation.

Le dernier niveau est lié à la *projection* ou à *l'anticipation*. A partir des éléments traités il s'agit de pouvoir anticiper les événements futurs pour prendre les décisions opportunes. Ce niveau est supposé permettre au conducteur de prévoir une séquence d'actions. Face aux nombreuses possibilités, le conducteur peut identifier le chemin le plus sûr, en se basant sur ce que seront les actions des autres conducteurs dans les prochaines secondes. On observe ainsi une différence entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés lorsqu'ils sont confrontés à une situation complexe de conduite (telle qu'une insertion sur autoroute). Seul le conducteur expérimenté procèdera à des projections des situations futures (Endsley, 2000). Contrairement aux conducteurs novices, les conducteurs expérimentés sauront où regarder afin de recueillir le maximum d'informations pertinentes concernant les autres usagers. De mauvaises représentations pourront se traduire par une moindre qualité des balayages de la scène routière. Si nous savons quoi attendre, nous savons sur quoi anticiper et comment s'y préparer. La construction d'un modèle mental de la situation indique où et comment regarder, ce que les conducteurs novices n'ont pas encore appris. Grâce aux situations déjà rencontrées, il devient plus aisément de savoir quelle information est pertinente et laquelle ne l'est pas (Näätänen & Summala, 1974). Les conducteurs novices délaisSENT, entre autre, la surveillance des véhicules adjacents. Les conducteurs expérimentés anticipent mieux le fait qu'ils sont susceptibles de commettre des erreurs, ce qui leur permet de mieux les rattraper.

Pour Endsley (1991, 1995), la conscience de la situation est le principal précurseur des processus de prise de décision. Cependant, le développement de la conscience de la situation n'induit pas forcément une prise de décision correcte. Il est possible que de mauvaises décisions soient prises avec une bonne conscience de la situation. Selon Endsley (1991), la conscience de la situation doit être considérée comme un état indépendant à la fois de la prise de décision et des performances. Un ensemble de facteurs joue un rôle essentiel dans le passage d'une bonne conscience de la situation vers de bonnes performances. Toutefois, compte tenu des contraintes techniques ou organisationnelles, les possibilités de prises de décision sont parfois limitées en raison du manque d'expérience. En effet, par l'intermédiaire de l'expérience acquise, des plans d'action sont développés pour faire face aux situations. Les facteurs individuels sont également souvent mis en cause, tel que l'impulsivité ou l'indécision car ils amènent à prendre de mauvaises décisions. A contrario, des décisions correctes peuvent être prises malgré une conscience de la situation peu développée (Endsley, 1991, 1995).

La prise de décision est ainsi l'une des étapes clé de la chaîne de traitement de l'information. Elle est essentielle car c'est en fonction d'elle que l'individu adoptera ou non un comportement adapté à la situation. Nous reviendrons au paragraphe suivant sur deux modèles expliquant les étapes de traitements menant à une prise de décision.

1-2-4/ Rôle de la prise de décision dans le traitement de l'information

1-2-4-1/ Modèle de prise de décision de « l'échelle double »

Les travaux de Rasmussen portent, à l'origine, sur la fiabilité des systèmes complexes. L'accident nucléaire de 1979 à Three Miles Island aux USA l'avait amené à s'orienter vers la gestion du risque et les modalités de contrôle des processus dynamiques³ dans un contexte industriel. Rasmussen (1976) tenta alors d'identifier les modalités de contrôle d'un système physique et les étapes nécessaires pour aboutir à une prise de décision. A partir d'observations via une chambre de contrôle, l'accent fut ainsi mis sur les stratégies adoptées par les opérateurs lors de la réalisation d'une activité propre au domaine industriel. Rasmussen (1976) visait ainsi une description des différentes étapes de traitement de l'information avant d'arriver à une prise de décision.

Les observations effectuées à partir de cette chambre de contrôle, sur les protocoles verbaux des opérateurs, ont permis à Rasmussen (1976) de conclure que ces protocoles ne reflétaient pas les opérations de traitement de l'information mais plutôt une série d'états de connaissances dont dispose l'individu sur la tâche à effectuer. Ces connaissances correspondent à des nœuds standardisés entre les différentes étapes du traitement de l'information. Rasmussen (1983, 1986) décrit ainsi la tâche de contrôle comme une séquence d'activités alternant entre des représentations, des traitements et l'exécution d'une action. Le passage d'une étape à l'autre diffère selon le niveau de familiarité avec la tâche. Dans le cadre d'une situation familiale, chacune des étapes perd de son autonomie en raison de l'existence des raccourcis. En effet, dans ce cas, l'action de l'individu s'apparente à un simple rappel de l'ensemble des connaissances générant un trajet direct de la phase d'observation à la phase d'exécution. Ainsi, pour aboutir à une prise de décision, le système de traitement de l'information se basera sur des solutions issues des expériences précédentes. Cette capacité crée un répertoire important de raccourcis chez un opérateur pourvu de compétences (Rasmussen, 1986). Avec l'expertise, ces raccourcis s'introduisent dans l'agencement séquentiel d'états et de traitements (Bellet, 1998) et procurent une rapidité de traitement et une bonne probabilité de réussite. L'étape intermédiaire de diagnostic deviendra implicite lors du déclenchement de la procédure (Keyser (De), 1989). En revanche, lors de situations non familiaires, le traitement de l'information sera plus long car il nécessitera le recours à l'ensemble des étapes pour la prise de décision.

Les pertes de contrôle de la part des opérateurs ont amené Rasmussen (1986) à compléter son modèle initial *Skills-Rules-Knowledge* (SRK) avec la formalisation de l'aspect dynamique dans son « modèle de l'échelle » (*step ladder*) (figure 6). Ce modèle représente ainsi les cheminements possibles des processus cognitifs entre les trois niveaux de comportement à savoir le niveau basé sur les habiletés, le niveau basé sur les règles et le niveau basé sur les connaissances (cf. I-2-3). Aussi, un défaut de contrôle ne résulte pas forcément d'une « défaillance locale » mais plutôt d'une défaillance du système de gestion cognitive du passage d'un mode de fonctionnement à l'autre. Le modèle formalisé par Rasmussen (1983) comprend ainsi des phases successives de traitement avant d'aboutir à une prise de décision. Schématiquement, l'individu commence par une phase d'analyse de la situation durant laquelle quatre processus interviennent. *L'activation* place l'opérateur en position de recevoir des informations. Cette phase favorise la détection des situations nécessitant une action régulatrice. *L'observation* vise à recueillir des informations afin de surveiller l'état courant de la situation, du processus observé. *L'identification* durant laquelle

³ *Un processus dynamique suppose une évolution continue même en l'absence d'action émanant de l'opérateur et impose ainsi un besoin permanent d'adaptation de la part de l'individu. L'action de l'individu se résume ainsi à surveiller le déroulement naturel du processus, à détecter et diagnostiquer un éventuel dysfonctionnement et le cas échéant, à mettre en place des actions régulatrices afin de corriger les dysfonctionnements observés (Bellet 1998)*

les informations recueillies sont classées en vue d'une représentation de l'état de la situation permettant d'identifier les besoins de la tâche à effectuer. *L'interprétation ou le diagnostic* qui détermine l'origine et les conséquences des symptômes repérés (Bellet, 1998).

La seconde phase consiste à planifier l'action. Il est ainsi question d'une *évaluation*. En prenant compte du contexte situationnel et des contraintes, l'individu examine les possibilités d'intervention et identifie les objectifs à atteindre. L'évaluation permet de cibler l'état vers lequel doit tendre le système et de sélectionner la tâche à effectuer à partir des ressources disponibles. Les indices sont analysés afin d'évaluer la situation actuelle et les conséquences possibles. La *définition de la tâche* définit l'action à entreprendre et les conditions d'exécution pour atteindre le but visé. L'individu recherche les indices importants qui lui permettront de définir une direction à suivre pour effectuer les tâches suivantes. La *formulation d'une procédure*, correspond à la mise au point d'une séquence d'actions à effectuer. Si l'individu connaît déjà une démarche à suivre pour résoudre le problème, il s'y référera prioritairement. Le cas inverse conduira à l'élaboration, à la planification et à l'exécution d'une nouvelle procédure.

La dernière phase consiste simplement à exécuter l'action choisie.

Dans un champ de contrôle, il y a un champ d'activités « légitimes » pour l'opérateur qui correspondent à l'ensemble des procédures et qui lui paraissent acceptables. Parmi ces procédures, l'opérateur fait des choix (décide de la stratégie d'action) selon des critères subjectifs liés à son analyse de la situation. La chaîne de traitement évolue « normalement » lorsque l'opérateur a un sentiment d'adéquation entre la situation actuelle et les exigences de la situation. Aussi, la perte de contrôle, dans un système dynamique, serait le résultat d'une mauvaise adaptation de l'individu aux contraintes de l'environnement dans lequel il évolue (Rasmussen, 1986).

Ces étapes sont tributaires du contexte dans lequel la prise de décision sera effectuée. Ainsi, en s'appuyant sur le modèle de Rasmussen (1983, 1986), nous pourrons comprendre comment un échec lors de l'une de ces étapes peut se transformer en erreur sur le terrain.

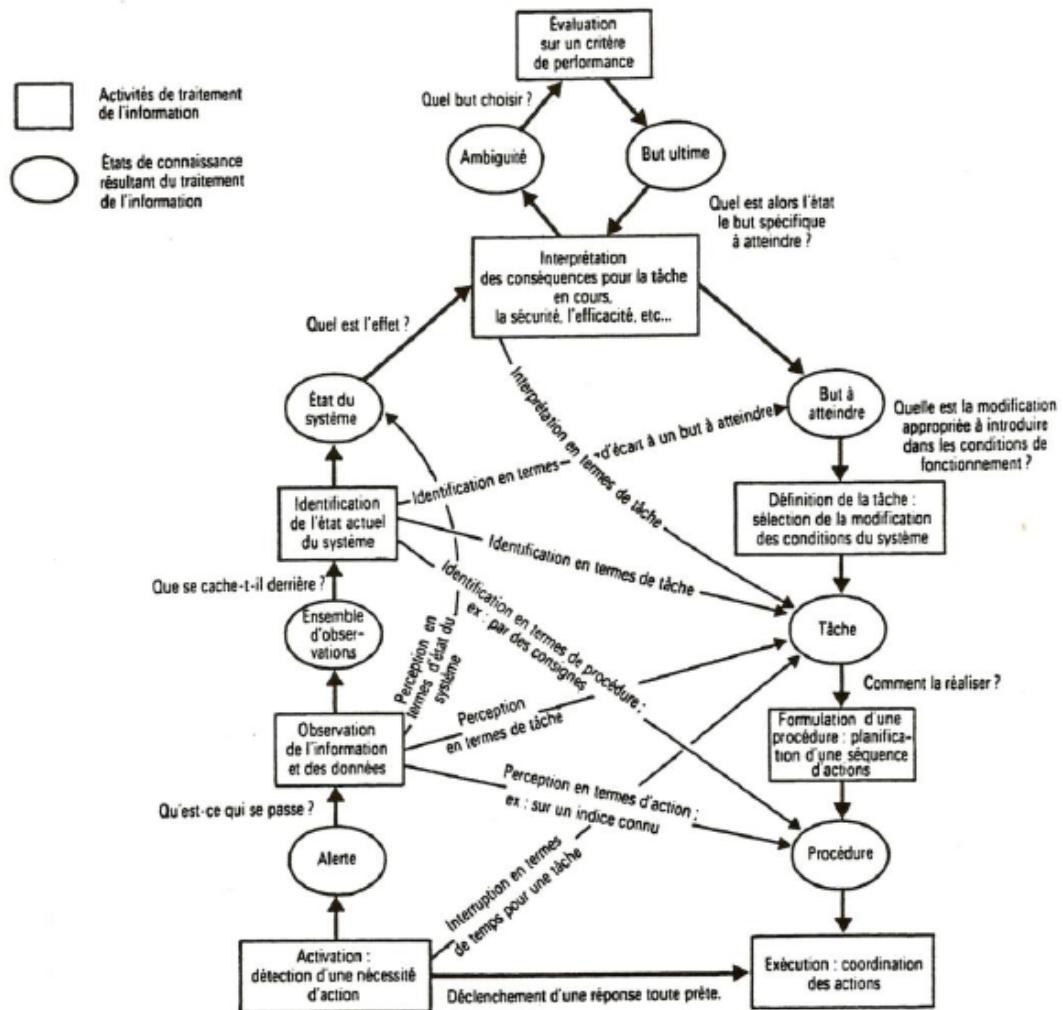


Figure 6: Le modèle de prise de décision, dit de "l'échelle double"

Source : Figure tirée de Reason (1993)

Au cours des paragraphes précédents consacrés au traitement de l'information, nous avons montré le rôle de la perception, de la mémoire et des connaissances sur le traitement de l'information. Le modèle de la *Cognition-Conation* développé par Martin (2005) montre comment ces processus sont liés et comment ils interagissent.

1-2-4-2/ Modèle de la Cognition Conation

Le modèle de la Cognition Conation explique le traitement de l'information sur un axe temporel allant des processus attentionnels à la prise de décision (figure 7).

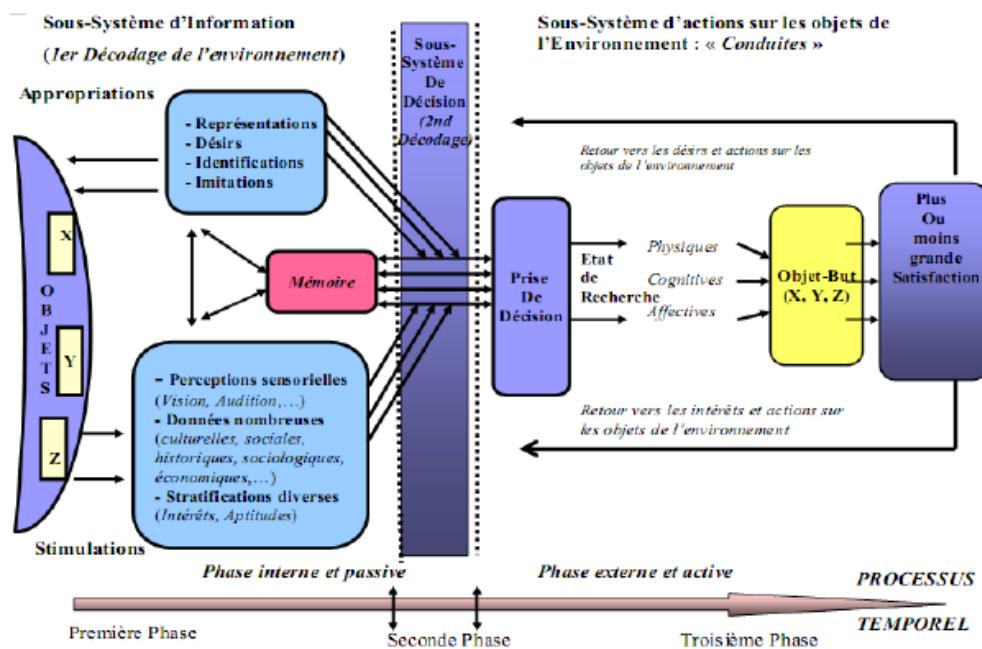


Figure 7:Modèle général de la Cognition Conation, aspects et complexité

Source : Schéma tiré de Martin (2005)

Selon ce modèle, l'interaction entre environnement et individu est envisagée suivant trois étapes qui suivent :

1. Le sous-système d'information (premier décodage de l'environnement) Selon ce modèle, l'individu serait non seulement confronté à un ensemble de stimulations externes (sensorielles, cognitives, historiques, éducatives...) provenant de l'environnement mais il subirait également des stimulations internes (biologiques, organiques, hormonales...). Ainsi, face à une situation donnée, les stimuli sont reçus, intégrés, décodés, compris et interprétés grâce à un vaste réseau de structures corticales et sous-corticales. Notons toutefois que seule, une partie des indices sensoriels sera prélevée dans le continuum des perceptions et pourra être réutilisée lors de la prise de décision. La mémoire jouera ici un rôle important quant à la transmission, à la stabilisation et au maintien des stimulations perçues. L'appropriation de ces stimulations s'effectuerait selon quatre éléments : 1) l'imitation, 2) la représentation, 3) les désirs et 4) l'identification. Ces processus d'appropriation correspondent ainsi à une saisie spécifique d'objets inter-agissants. Lors de la phase de décision, qui engage l'attention, leurs interactions traduisent des connexions subtiles entre les perceptions, les représentations, les désirs et l'identification.
2. Le sous-système de décision (second décodage de l'environnement) Pour aboutir à une prise de décision, les processus attentionnels tels que le désengagement, la réorientation ou encore l'attention soutenue sont en « alerte ». La caractéristique essentielle du sous-système de décision réside dans une procédure de maturation, de classement et de hiérarchisation des stimulations. Autrement dit la procédure sera faite en fonction des objectifs de départ. Cela sous entend que l'individu n'est plus forcément confronté à l'environnement réel mais ce sont ses intentions et ses actions qui vont engager l'attention active de haut niveau, c'est-à-dire qu'il va prendre des décisions.

3. Le sous-système d'action sur les objets de l'environnement A cet instant, les comportements et les actions choisies par l'individu sont le résultat de la combinaison des deux sous-systèmes. Ainsi, si l'on prend l'exemple de l'activité de conduite, cette étape se traduira par la nécessité d'un engagement soutenu et sélectif de l'attention qui va s'exprimer dans la maîtrise du véhicule. L'attention se traduit ici dans l'émergence des prises de décision. Le conducteur devra modifier ou prendre des décisions afin qu'elles soient en adéquation avec l'évolution de la situation et cohérentes pour les autres usagers.

Ce modèle est intéressant car il met en avant le lien entre les processus cognitif et leurs interactions pour aboutir à une prise de décision. Il reste toutefois global et général et ne prend pas en compte le degré de familiarité avec une tâche, qui est une dimension importante pour expliquer les différences entre novices et expérimentés face à une tâche donnée.

La chaîne du traitement de l'information est ainsi un système complexe mettant en jeu différents processus cognitifs permettant d'aboutir au résultat final qui est l'exécution d'une action adéquate. Nous pouvons maintenant mieux comprendre la mise en jeu de ces processus lors d'activités spécifiques telle que l'activité de conduite et les difficultés de traitement de l'information engendrées par des situations d'attention partagée. Ces situations, souvent causées par des distractions cognitives, feront l'objet du paragraphe suivant.

1-3/ Distraction au volant

Les chapitres précédents ont présenté et expliqué les processus cognitifs mis en jeu lors de la réalisation d'une tâche. Ce chapitre, centré sur la distraction au volant, s'intéressera plus particulièrement à l'activité de conduite afin de montrer les répercussions d'une situation d'attention partagée sur les performances de conduite.

1-3-1/ Cas du téléphone portable

La vie quotidienne regorge de situations au cours desquelles nous effectuons simultanément deux activités. C'est le cas d'un trajet à pieds entre amis où il n'est pas difficile de maintenir la cadence tout en discutant ; le débit verbal n'est pas diminué et la marche n'est pas ralentie. Dans ce cas, l'efficacité de l'une des activités ne détériore pas celle de l'autre. Toutefois, effectuer simultanément deux tâches n'est pas toujours aussi aisée et une altération des performances de l'une des tâches, voire des deux, est souvent perçue. Par exemple, faire du vélo et tenir un téléphone à la main. La tâche est périlleuse et souvent l'équilibre du vélo est fragilisé par la conversation téléphonique.

Aujourd'hui, avec le développement des nouvelles technologies, l'utilisation du téléphone portable est banalisée et on n'hésite pas à l'utiliser en conduisant quelle que soit la complexité de la situation de conduite. Aussi, avec un risque d'accidents multiplié par quatre (Redelmeier & Tibshirani, 1997), les décrets relatifs à la sécurité routière ont été revus. Dans un premier temps, seul un comportement susceptible de détourner l'attention du conducteur était répréhensible. Le code de la route ne mentionnait aucune référence à l'usage du téléphone portable au volant. « *Tout conducteur doit se tenir constamment en état et en*

position d'exécuter commodément et sans délai toutes les manœuvres qui lui incombent. Ses possibilités de mouvement et son champ de vision ne doivent pas être réduits par le nombre ou la position des passagers, par les objets transportés ou par l'apposition d'objets non transparents sur les vitres. Le fait, pour tout conducteur, de contrevenir aux dispositions ci-dessus est puni de l'amende prévue pour les contraventions de la deuxième classe » (Article R.412-6 du Code de la route). Ce n'est qu'avec le décret du 1^{er} avril 2003 qu'une référence à l'usage du téléphone portable au volant est mentionnée : « *L'usage d'un téléphone tenu en main par le conducteur d'un véhicule en circulation est interdit. Le fait, pour tout conducteur, de contrevenir aux dispositions du présent article est puni de l'amende prévue pour les contraventions de la deuxième classe. Cette contravention donne lieu de plein droit à la réduction de deux points du permis de conduire* ».

Les données épidémiologiques relatives à l'impact d'une conversation téléphonique sur le risque d'accident sont relativement peu nombreuses. La méthodologie appliquée par Redelmeier et Tibshirani (1997) offre un aperçu du lien qui existe entre une conversation téléphonique et le fait d'être impliqué dans un accident. Ces auteurs ont analysé les factures téléphoniques détaillées de 699 conducteurs impliqués dans une collision. Sur ces factures figurait le détail des appels passés le jour de l'accident mais également pour les semaines précédentes. Ainsi, en combinant les informations des rapports de polices, les retours des sujets et les informations relevées grâce aux factures téléphoniques, ils ont pu estimer ce risque. Ils ont pu vérifier si le conducteur téléphonait ou non pendant la courte période qui précède l'accident et ont procédé de la même manière pour des périodes comparables les jours précédents. Les résultats montrent que le téléphone portable a été utilisé de manière plus « excessive » juste avant l'accident que durant une période similaire. De plus, la majorité des accidents survient quelques instants après la réception ou l'émission d'un appel. Que les appels soient émis ou reçus, le risque d'accident est important dès le démarrage de la conversation. Ils ont ainsi pu estimer un risque d'accident entre 3 et 6,5 fois plus élevé durant les dix premières minutes de conversation (Redelmeier & Tibshirani, 1997). Globalement, le risque d'accident est identique quel que soit le type de conducteur (Redelmeier & Tibshirani, 1997).

Avec le même objectif, Laberge-Nadeau et al. (2003) ont observé un important échantillon de conducteurs (36068 participants) répartis en deux groupes : utilisateurs et non utilisateurs du téléphone portable. La fréquence d'utilisation du téléphone a également été prise en compte afin de relever si elle était ou non corrélée avec le risque de collision. Pour cela, des questionnaires ont été envoyés aux sujets concernant leurs habitudes de conduite, leur exposition au risque, leur opinion concernant les activités effectuées au détriment de la sécurité, leurs éventuels accidents durant les 24 derniers mois et concernant des informations socio-démographiques. Des questions spécifiques aux habitudes d'utilisation du téléphone portable ont également été ajoutées. Leurs résultats révèlent un risque plus important pour les utilisateurs de téléphones portables comparé aux non utilisateurs (Laberge-Nadeau et al. 2003).

Avant de discuter dans le détail les effets de la distraction sur les performances de conduite, il est important de préciser que la perturbation induite par l'utilisation du téléphone portable est la même que le conducteur le tienne à la main ou qu'il dispose d'un dispositif de type kit mains libres ou kit piéton (Redelmeier & Tibshirani, 1997; Strayer, Drews, & Crouch, 2006). Strayer et Johnston (2001) ont conduit une expérimentation en laboratoire à l'aide d'un écran d'ordinateur. L'intérêt était d'observer comment le téléphone portable perturbe la gestion des situations d'urgences. L'échantillon était composé de deux catégories de sujets, un groupe tenant le téléphone à la main et un groupe qui disposait d'un kit mains

libres. Muni d'un joystick, les sujets avaient pour consigne de suivre une cible mouvante. Un signal lumineux de couleur rouge ou verte apparaissait par intermittence sur l'écran. Les participants devaient appuyer aussi vite que possible sur le bouton si la lumière rouge apparaissait. Les résultats sont identiques que le téléphone soit tenu à la main où non. Il a été également mis en évidence que la conversation téléphonique allongeait les temps de réactions montrant que l'effet du téléphone se traduisait davantage par une limitation des capacités attentionnelles que par une limite de dextérité puisque l'impact de la conversation téléphonique est observé dans les deux conditions téléphoniques. Selon Stayer et al. (2006), le risque associé à l'utilisation du téléphone est équivalent au risque présent lorsque l'on atteint le taux d'alcoolémie limite autorisé dans le sang d'un conducteur.

Il est désormais évident que l'utilisation du téléphone portable au volant réduit la marge de sécurité (Haigney & Westerman, 2001) par le phénomène de distraction qu'elle génère. On définit la distraction comme le report des ressources attentionnelles nécessaires à l'activité de conduite sur un pôle attractif (discussion, tâche annexe) mais extérieur à cette activité. La gestion simultanée de ces deux tâches va potentiellement positionner le conducteur en situation de surcharge attentionnelle en augmentant le niveau des demandes physique et cognitive. L'interférence pourra se traduire par une division des ressources à un niveau visuel, auditif, moteur et cognitif selon la tâche secondaire effectuée (Ranney, Mazzae, Garrott, & Goodman, 2000).Concrètement, une distraction va diminuer les ressources attentionnelles à assigner si la tâche de conduite nécessite des ressources supplémentaires ou si une situation d'urgence survient (Haigney & Westerman, 2001; Haigney et al. 2000).

1-3-2/ Effets de la distraction sur l'activité de conduite

Une quantité non négligeable de travaux ont tenté d'expliquer le danger provenant d'une distraction pour l'activité de conduite, que celle-ci soit de nature visuelle, manuelle ou encore cognitive. Rappelons que nous portons notre intérêt exclusivement sur les distractions internes au véhicule et plus particulièrement au cas du téléphone portable. La distraction cognitive causée par une conversation téléphonique génère une altération des performances de conduite aussi bien au niveau opérationnel qu'au niveau tactique, tant en terme de perception (Recarte & Nunes, 2000), qu'en terme de prise de décision (Hancock, Lesch, & Simmons, 2003) ou encore de capacité de détection de stimuli (Strayer & Johnston, 2001).

1-3-2-1/ Perturbations au niveau opérationnel

Si l'on se réfère à la structure hiérarchique de l'activité de conduite proposée par le modèle de Michon (1985), l'impact d'une conversation téléphonique sur les performances du niveau opérationnel est mitigé. Certaines recherches, telles que celles de Brookhuis et al. (1991) ou encore celle de Liu et al. (2006) ne montrent pas d'altérations des performances en termes de qualité du positionnement du véhicule par rapport au marquage au sol, plus précisément par rapport à la ligne continue (Liu & Lee, 2006). Pour Lamble et al. (1999) il n'y a pas non plus de dégradation significative au niveau du contrôle basique du véhicule. Reed et Green (1999), à l'inverse, observent un impact significatif du téléphone sur la précision de la conduite (maintien de la trajectoire, contrôle du véhicule, etc.) essentiellement lorsque le conducteur cherche à passer un appel. Dans ce cas, la perturbation serait liée à des fixations plus longues en direction du téléphone.

Selon Liu et al. (2006), la distraction entraîne des freinages tardifs et de fait d'intensité plus forte. Les conducteurs réduisent leur vitesse, ne prennent pas le temps nécessaire pour marquer l'arrêt. Les interactions avec les autres véhicules changent. Pour ces auteurs, l'altération des performances de conduite pourrait être attribuée à la fois à une diminution de la qualité des processus de traitement et au phénomène de vision tunnel (cf. 1-3-2-3) induite par la charge cognitive.

Il a été également observé que l'impact de la conversation téléphonique sur les performances de conduite du niveau opérationnel n'est pas le même selon l'expérience de conduite. Selon l'étude menée par Greenberg et al. (2003) sur simulateur de conduite, il semblerait que les sous-tâches automatisées et acquises grâce à l'expérience de conduite ne soient pas dégradées significativement par la conversation téléphonique. Contrairement aux conducteurs expérimentés, les conducteurs novices sont davantage perturbés par la conversation téléphonique et des difficultés du maintien de la trajectoire se ressentent avec des violations de lignes plus fréquentes (Erick, Simons-Morton, Lee, & Neale, 2005).

1-3-2-2/ Perturbations au niveau tactique

L'incompatibilité du téléphone portable avec l'activité de conduite est perçue davantage au niveau tactique en raison des difficultés de traitement des informations. En effet, la tenue d'une conversation téléphonique se fait non seulement au détriment de la capacité à effectuer en temps réel une surveillance dynamique de la scène routière mais également au détriment de la compréhension rapide des évolutions de l'environnement. Nous présenterons ainsi les résultats de différentes recherches afin d'illustrer la manière dont les situations d'attention partagée génèrent des perturbations au niveau du traitement de l'information.

Une conversation téléphonique rend complexe la recherche d'informations dans l'environnement routier ; qu'il s'agisse du prélèvement des informations utiles à la régulation de la vitesse, au maintien des distances inter-véhiculaires ou encore à l'estimation du temps et de l'espace nécessaire pour effectuer une manœuvre en sécurité. A titre d'exemple, Victor et al. (2005) analysent la capacité des conducteurs à différencier les indices utiles des indices inutiles pour l'activité de conduite lorsqu'ils sont en situation d'attention partagée. Ils constatent que les conducteurs ne réallouent pas stratégiquement leur attention. Ils ne transfèrent pas les ressources attentionnelles destinées aux informations non pertinentes de la scène routière vers le traitement des informations relatives à la conversation téléphonique pour maintenir une priorité de traitement aux informations pertinentes de la scène routière.

Les difficultés à traiter les informations se révèlent lors de manœuvres particulières. A cet effet, Brown et al. (1969) ont observé les effets d'une conversation téléphonique sur les capacités de jugement. Ils ont demandé aux conducteurs d'effectuer une tâche de suivi tout en maintenant la conversation proposée. La consigne donnée aux sujets était de déterminer s'il était possible de passer au travers d'espaces (gap) plus ou moins grand. Ces auteurs ont conclu que l'utilisation du téléphone affecte la perception et les capacités de prises de décision. Le jugement des espaces considérés comme « impossibles » (les plus petits) par les auteurs est particulièrement dégradé par la conversation téléphonique. Rosenbloom (2006) a également tenté d'identifier l'impact de la conversation téléphonique sur le jugement d'un gap. Il s'agissait plus spécifiquement de vérifier la nature de la dégradation du maintien de la distance séparant la voiture du sujet de la voiture précédente, en environnement réel de conduite. Le conducteur devait répondre à des appels téléphoniques via un système mains libres. Les résultats démontrent que la distance inter-véhiculaire tend

à diminuer dès que le conducteur téléphone, que la conversation soit de courte durée (moins de 11 minutes) ou de longue durée (égale ou supérieure à 16 minutes) (Rosenbloom, 2006).

Lorsque le conducteur est en situation d'attention partagée, les temps de réactions (TR) augmentent. L'expérimentation sur simulateur de conduite menée par Alm et Nilsson (1995) le montre auprès de quatre groupes de conducteurs différenciés selon leur âge et leur fréquence d'utilisation du téléphone portable (utilisateurs vs non utilisateurs). La consigne était de suivre un véhicule et de freiner dès que celui-ci freinait. Les auteurs ont mis en avant des TR plus longs lors de la conversation téléphonique. Ces résultats sont confirmés par Consiglio et al. (2003) pour qui cette augmentation des temps de réaction est source de collisions et par Strayer et Drews (2004). Cette augmentation des TR peut non seulement résulter de difficultés à traiter et à comprendre les informations perçues mais également du fait qu'un conducteur distrait a une probabilité plus élevée de ne pas voir des informations de la signalisation routière (panneau « stop », freinage du véhicule précédent) et de réagir plus lentement aux signaux perçus (Strayer & Johnston, 2001). Ce phénomène est amplifié en situation de fort trafic (Strayer et al. 2003).

Pour pallier l'augmentation des temps de réaction et compenser les effets des tâches secondaires, certains conducteurs adoptent des stratégies compensatrices (Haigney et al. 2000; Strayer, et al., 2003). Ces stratégies peuvent se traduire par une diminution de la vitesse (Fairclough, 1991; Liu & Lee, 2006). Selon Alm et Nilsson (1994) cela ne serait possible que lorsque les situations de conduite sont « simples ». Une recherche ultérieure menée par Alm et Nilsson (1995) ne retrouve pas le phénomène de la baisse de vitesse. Il semblerait que le maintien de l'allure soit différent selon la durée de l'appel. Lorsque l'appel est de courte durée, les conducteurs réduisent leur vitesse. En revanche, lorsque l'appel est de longue durée les conducteurs tendent à rouler plus vite (Rosenbloom, 2006). Notons, par ailleurs, que Strayer & Drews (2004) ont observé qu'en situation de double tâche, les distances inter-véhiculaires augmentent pour pallier ces temps de réaction à rallonge. Une distance inter-véhiculaire plus grande qui laisserait aux conducteurs le temps de répondre à un événement imprévu.

1-3-2-3/ Perturbations au niveau visuel

Une conversation téléphonique distrait le conducteur, provoque un retrait d'attention de la scène visuelle créant une forme de cécité au changement. Deux explications sont proposées. Soit ce phénomène résulte d'un détournement de l'attention de l'environnement routier, soit l'attention est maintenue vers la scène routière avec une dégradation de l'attention visuelle. Cela suppose qu'un conducteur aura des difficultés à se rappeler et à identifier les informations fraîchement perçues même si son regard se porte vers ces éléments. En effet, même si les conducteurs regardent directement des objets de l'environnement routier, ils peuvent ne pas les voir car leur attention est allouée à la conversation téléphonique (Strayer & Drews, 2006). Cela rejoint le principe de regarder sans voir (« look but failed to see »).

En partant du principe que la majorité de l'information nécessaire à l'activité de conduite est acquise visuellement, tout changement dans le comportement visuel des conducteurs peut avoir des conséquences en termes de sécurité routière. Il s'agit en effet du canal le plus important pour l'activité de conduite. Les décisions qu'ils prennent dépendent également de la surveillance de la scène routière et de la collecte d'informations pertinentes. Dans ce contexte, le problème lié à l'utilisation du téléphone au volant est multiple.

McCarley et al. (2004) ont utilisé une tâche de cécité aux changements⁴ en prenant comme référence une scène visuelle de base et plusieurs scènes visuelles comportant des variantes. La consigne donnée était d'énumérer les changements de la scène en un minimum de temps, en considérant comme une erreur tout élément énoncé en un délai supérieur à soixante secondes. Ces auteurs ont ainsi pu mettre en évidence un nombre d'erreurs plus important durant la conversation téléphonique. En termes de conduite, cela pourrait se traduire par une mauvaise compréhension des situations et par des difficultés à juger la nature des éléments présents. La capacité de prise de décision en serait inévitablement affectée.

Que ce soit en environnement réel, sur simulateur de conduite ou encore en laboratoire, les études visant à comprendre le comportement visuel des conducteurs sont nombreuses. Recarte et Nunes (2000) ont observé les effets d'une tâche cognitive sur les stratégies visuelles des conducteurs en situation réelle de conduite. Durant l'expérimentation, des tâches verbales et des tâches d'imagerie spatiale leurs étaient proposées. Les résultats montrent que lorsque la demande de la tâche secondaire augmente, le champ visuel fonctionnel se réduit aussi bien horizontalement que verticalement avec une baisse de la fréquence de consultations des rétroviseurs et une réduction de la surveillance des instruments de commandes (Recarte & Nunes, 2000). Des résultats similaires ont été obtenus lors de recherches ultérieures (Harbluk et al. 2007; Recarte & Nunes, 2003; Victor et al. 2005). L'expérimentation de Recarte et Nunes (2000) illustre parfaitement les principaux effets liés à la réalisation d'une tâche cognitive et met ainsi en avant la manière dont une conversation modifie l'allocation des regards.

Recarte et Nunes (2003) ont montré par la suite qu'une tâche mentale provoquait une concentration spatiale des regards. Ce phénomène, appelé également « effet tunnel », se traduit par des regards essentiellement dirigés vers le centre de la route avec une baisse des variations horizontales et verticales de l'angle des regards (Harbluk & Noy, 2002; T. W. Victor, et al., 2005). Cette concentration des regards est accentuée par des regards plus rares en direction du marquage au sol à proximité du véhicule (Harbluk & Noy, 2007 ; Recarte & Nunes 2000). Pour Victor et al. (2005), ce phénomène pourrait être révélateur soit d'une priorité donnée à l'action de guidage au détriment des tâches de reconnaissance, soit d'une perturbation dans le traitement des tâches à effectuer ou tout simplement à une combinaison de ces deux causes. La conséquence principale des modifications des stratégies visuelles serait un affaiblissement des capacités de détection des changements dans la scène routière (Recarte & Nunes, 2003; Strayer & Johnston, 2001; Victor et al. 2005).

Par ailleurs, si l'on s'intéresse à l'impact des tâches ajoutées en fonction de l'expérience de conduite, l'étude de Wikman et al. (1998) s'avère particulièrement intéressante. Ils ont testé la durée des regards des conducteurs novices lors d'un changement de cassette, au moment de la recherche d'une station radio et lors d'une conversation téléphonique. Ils ont ainsi pu relever une variabilité dans la durée des regards plus importante chez les conducteurs novices que chez les conducteurs expérimentés. Pour McCarley et al. (2004), l'utilisation du téléphone portable détourne l'attention des jeunes conducteurs de la détection des changements dans des situations complexes de conduite. Il est aussi important de noter que certaines études suggèrent qu'en situation de simple tâche, les jeunes conducteurs ne sont pas aussi efficaces que les conducteurs expérimentés dans le traitement des informations visuelles nécessaires. Par exemple, McKnight et McKnight (2000) soulignent un déficit chez les conducteurs novices à identifier des risques potentiels

⁴ On appelle « cécité au changement » l'incapacité commune à remarquer des changements parfois considérables dans la scène visuelle.

dans la scène routière. Un effet d'expérience qui peut s'avérer utile en situation d'attention partagée puisque lorsque la demande de conduite augmente, les expérimentés peuvent réallouer leurs ressources cognitives et modifier leur inspection de la scène (Chapman & Underwood, 1999).

1-3-2-4/ Facteurs amplifiant les effets du téléphone portable

Nous venons de voir qu'il est indéniable qu'une conversation téléphonique dégrade les performances de conduite. Cette dégradation s'avère d'autant plus importante lorsque le conducteur s'implique émotionnellement dans la conversation ou que la demande mentale de la part du conducteur augmente (McKnight & McKnight, 1993). En effet, une forte implication de la part du conducteur provoque un retrait important de ressources attentionnelles de l'activité de conduite au profit de la conversation téléphonique. Une conversation engagée sera ainsi pénalisante en termes de sécurité routière (Strayer & Johnston, 2001). Les études mettent également en avant qu'une tâche secondaire (autre qu'une conversation téléphonique) de faible intensité, telle que l'écoute radio, ne présente pas d'incidences sur les performances de conduite (Strayer & Johnston, 2001). A contrario, on peut supposer que, dans le cas d'une conversation téléphonique relativement simple et d'un conducteur détaché l'impact sur les performances de conduite sera relativement faible.

Les caractéristiques de l'environnement sont également sources de variations de la charge mentale lorsque le conducteur est au téléphone (Liu & Lee, 2006). En évoluant dans un environnement familier ou non complexe, en présence d'un trafic faible, la demande attentionnelle est peu importante et la situation peut être gérée sans problème. Dans ces situations, l'utilisation du téléphone portable ne devrait pas interférer avec la tâche de conduite. Il est ainsi possible de maintenir un niveau de conduite acceptable et sans difficultés (Liu & Lee, 2005). En revanche, en situations complexes, la conversation téléphonique affectera particulièrement l'activité du conducteur (Antilla, 2005). Prenons l'exemple de la manœuvre de franchissement d'intersections. Par définition cette manœuvre est particulièrement complexe car le conducteur doit non seulement gérer les sous-tâches sensori-motrices de l'activité de conduite, telles que l'adaptation de sa vitesse à la situation de conduite ou l'évitement de freinages brusques... Mais il doit également être en mesure de gérer les flux de véhicules venant du sens opposé ou sur les côtés pour une prise de décision adaptée. En termes de conduite, cela se traduit par la nécessité de détecter les éléments critiques ainsi que les changements de l'environnement routier. Ainsi, il est important de déterminer de quelle manière une conversation modifie le comportement visuel des conducteurs. En effet, dans ces situations, le risque d'accidents est élevé (Harbluk et al. 2007). Un conducteur doit être en mesure de surveiller les piétons, les véhicules présents et ceux changeant de voie. La surveillance des feux tricolores est altérée et à mesure que le conducteur téléphonant s'approche de l'intersection, il oublie de surveiller la zone à droite de l'intersection (Harbluk et al. 2007). Une étude sur simulateur menée par Smith et al. (2005) confirme cette réduction de la surveillance des zones de l'intersection. Les temps nécessaires pour détecter les éléments de la signalisation sont par ailleurs plus lents. L'étude menée par Cooper et al. (2003) montre que ce type de manœuvre est particulièrement sensible aux effets de la distraction. Ces auteurs ont notamment démontré qu'en situation d'attention partagée, un conducteur franchit une intersection avec un gap plus petit qu'en situation dite normale de conduite. Associé à cela, la décision de marquer l'arrêt au bon moment est significativement dégradée par la conversation téléphonique (Hancock et al. 2003).

Un conducteur distrait n'est pas à l'abri de prendre des décisions non adaptées et risquées. En cherchant à mesurer les effets de différents systèmes d'informations sur le comportement des conducteurs en environnement urbain, Antilla et al. (2005) ont montré qu'une tâche secondaire de nature visuelle entraînait des attentes injustifiées aux intersections alors qu'aucun véhicule n'est présent. Malgré cela, il est intéressant de noter que ce sont les tâches secondaires de nature cognitives qui sont les plus fréquemment responsables de comportements inadaptés lors de franchissement d'intersections (Antilla, 2005).

Ainsi, marquer l'arrêt au bon moment lors d'un franchissement d'intersection, déterminer le moment opportun pour s'insérer dans une autoroute ou pour procéder à un dépassement sont autant d'exemple pour lesquels le conducteur doit pouvoir correctement décider de la démarche à suivre afin de prendre les décisions adéquates face à la situation. Ces situations « complexes » sont particulièrement sensibles à la situation d'attention partagée.

Parmi ces nouveaux systèmes d'informations et de communications, les systèmes de navigation occupent une place privilégiée. Considérée comme une tâche imbriquée à l'activité de conduite, leur utilisation nécessite une présentation détaillée.

1-3-3/ Cas des systèmes de navigation

Conduire en environnement non familier est une tâche complexe car le conducteur doit non seulement gérer la demande attentionnelle relative à la tâche de conduite mais également s'orienter pour atteindre son but (Summala, 2000). En l'absence de recours permettant de planifier son chemin, de sélectionner une route ou de recevoir des indications de guidage, le conducteur peut se sentir stressé, frustré et rencontrer des difficultés pour atteindre sa destination. Cela pourrait conduire à des comportements inappropriés et dangereux (Ross & burnett, 2001). Dans ce contexte, l'introduction de systèmes de navigation dans les véhicules a pour principal objectif d'aider le conducteur à arriver facilement et sans problème à destination. Différents systèmes de navigation existent. Ils permettent, en outre, une meilleure utilisation du réseau routier tout en réduisant les temps de trajet. Avec ces systèmes, les conducteurs se sentent généralement confiants et en sécurité car ils peuvent recevoir des alertes les informant des situations dangereuses à éviter par exemple (Brooks et al. 1999). Trois étapes sont prises en compte. La première intervient avant le trajet pour recueillir les informations nécessaires afin d'identifier la position actuelle et la destination à rejoindre. La seconde étape intervient durant le trajet et fournit au conducteur les informations utiles pour choisir une route particulière. La dernière étape correspond à l'arrivée à destination pour laquelle le conducteur a également besoin d'informations diverses telles que la localisation des parkings à proximité.

Positionnement du système de navigation

Avant d'évoquer les modalités d'interaction du conducteur avec ce type de dispositif, il est intéressant de préciser qu'en fonction de la localisation du système de navigation dans l'habitacle les effets sur les performances de conduite sont différents. Cette variable est toutefois importante car elle a une influence sur la manière dont le conducteur appréhende l'information fournie par le système (Pereira & Carvalhais, 2007). Un affichage de type tête haute (« Head-Up-Displays » ou HUD) a le potentiel d'améliorer les performances du conducteur bien qu'il effectue une tâche secondaire et permet de maintenir un niveau de sécurité convenable. L'affichage de type HUD est installé sur la partie supérieure du

tableau de bord, permettant ainsi une diffusion des informations dans le champ de vision du conducteur (Hooey & Gore, 1998). L'intérêt est d'éviter au conducteur de tourner la tête et de détourner son regard quand il a besoin de relever des informations. En revanche, un affichage de type « Head-Down-Display » (HDD) est positionné dans la partie inférieure du tableau de bord et n'apporte pas les mêmes avantages que l'affichage HUD. En effet, il semblerait que la diffusion des messages au centre du champ de vision ou à proximité soit le meilleur emplacement pour que le conducteur puisse les détecter (Tsimhoni, Green, & Waranabe, 2001).

Saisie des destinations

L'utilisation d'un système de navigation nécessite tout d'abord d'entrer la ou les destinations. Cette première étape est primordiale et doit être prise en compte car elle prend du temps, détourne l'attention du conducteur de l'environnement routier et, de fait, est source de distraction pour le conducteur. En termes de sécurité routière, l'impact de cette sous-tâche est plus ou moins important en fonction du type de système utilisé. Certains systèmes de navigation permettent la saisie des destinations exclusivement si le véhicule est à l'arrêt. En revanche, une majorité de systèmes de navigation n'empêchent pas le conducteur d'entrer sa ou ses destinations alors qu'il est déjà en train de conduire. Il s'agit notamment des systèmes de navigation de type nomade. Un second aspect de cette étape concerne le mode de saisie. L'entrée des destinations peut être soit manuelle (écran tactile, télécommande, etc.) soit à reconnaissance vocale (Tijerina, Johnston, Parmer, Winterbottom, & Goodman, 2000). Il y a indéniablement un impact lié à l'utilisation du mode manuel sur les performances de conduite (Nowakowski, Utsui, & Green, 2000). Cela est notamment dû au temps plus long de saisie avec une demande physique et cognitive plus importante que la saisie via la reconnaissance vocale (Hway-Liem, 2002).

Tijerina et ses collaborateurs (1998) ont fait conduire des sujets pour évaluer quatre types de système de navigation. La saisie des destinations se faisait de manière visu-manuelle pour trois systèmes de navigation et de manière vocale pour le quatrième. Les conducteurs avaient pour consigne d'entrer des destinations dans chacun des quatre systèmes de navigation. En comparant les deux modes de saisie, les résultats obtenus démontrent que le mode visu-manuel induit des temps d'exécutions plus longs, des détournements de regards de la scène routière plus importants, des regards plus fréquents en direction du système et un nombre plus élevé de déviations de trajectoires. Les auteurs ont ainsi conclu que l'utilisation d'un système de navigation à reconnaissance vocale est plus sécuritaire qu'un système à entrée manuelle (Tijerina, et al., 1998). Ces résultats sont corroborés par d'autres études selon lesquelles ce temps nécessaire à la saisie manuelle des destinations induit de moindres performances de conduite, avec notamment des déviations latérales (Gärtner, König, & Wittig, 2001). Pour Gärtner et al. (2001), cette altération des performances seraient le résultat d'une charge mentale plus importante lorsque les conducteurs sont amenés à saisir une destination manuellement.

Modalités de transmissions des informations

Un second aspect non négligeable relatif au système de navigation concerne les modalités de transmission des informations. Il s'agit de fournir au conducteur le meilleur trajet à suivre, au moment opportun et sans être trop intrusif pour ne pas le perturber dans son activité de conduite. Selon les systèmes, les modalités de présentation des informations varient. La modalité visuelle est généralement présentée à l'aide d'une carte routière ou avec un

affichage de type « turn by turn⁵ » ou « étape par étape ». A ce sujet, pour évaluer la modalité visuelle la plus appropriée, Dingus et al. (1995) ont mené une expérimentation sur simulateur de conduite. Ils ont comparé quatre types d'affichage : deux affichages de type « turn by turn » (l'un associé à une modalité auditive et l'autre non) et deux affichages avec une carte routière (l'un associé à une modalité auditive et l'autre non). Les auteurs ont utilisé deux conditions contrôles : la première correspondait à un guidage via une carte papier et la seconde était un guidage via des instructions écrites sur papier. Les résultats révèlent que l'utilisation d'une carte papier ou d'une carte électronique seule sans modalité auditive associée induisent les interférences les plus importantes sur l'activité de conduite. En effet, lorsque le conducteur utilise une carte papier, il doit accorder une importante quantité de ressources attentionnelles à la lecture de celle-ci. Cela induit un taux élevé de charge mentale se traduisant par davantage de freinages brusques et par des déviations latérales. Ce résultat est de plus conforté par les conclusions de Srinivasan et Jovanis (1997) qui ont comparé, sur simulateur de conduite, les effets sur les performances de conduite de l'utilisation d'une carte papier et d'un système de navigation. Comparé à l'utilisation d'une carte papier, un système de navigation (carte et modalité auditive) induit un taux de charge de travail moins élevé et des erreurs de navigation moins fréquentes. L'étude de Dingus et al. (1995) a également montré qu'un guidage de type « turn by turn » associé à une modalité auditive permettrait de meilleures performances et serait moins distractif. Cela est notamment confirmé par Brooks et al. (1999). Ces derniers ont comparé l'impact d'un système de navigation avec un affichage de type « turn by turn » à celui d'un système doté d'une carte électronique. Durant l'expérimentation, les deux systèmes ont été proposés simultanément aux conducteurs ; l'un placé à gauche du volant et l'autre à droite. D'après les résultats, les conducteurs auraient tendance à se baser sur l'affichage de type « turn by turn » délaissant la consultation du second système de navigation. Ces deux études mettent en avant l'intérêt d'utiliser une présentation d'informations de type « turn by turn ». En effet, il est important de privilégier la modalité visuelle la moins complexe dans la mesure où l'exploration visuelle change dès lors qu'une tâche visuelle est introduite au sein du véhicule (Victor & Johansson, *Sous presse*). Un effet de concentration de regards apparaît vers le centre de la scène routière et un regroupement de fixations se forme vers l'affichage de la tâche visuelle.

Comme nous l'avons précisé à de nombreuses reprises, les effets de la distraction sont perceptibles sur différentes sous-tâches de l'activité de conduite. Aussi, lorsqu'un conducteur est en situation d'attention partagée, il est extrêmement rare de maintenir une activité de conduite parfaite et sans erreur. C'est pour cette raison, qu'après avoir développé les différentes perturbations de l'activité de conduite causées par la distraction, nous consacrerons un chapitre à l'erreur afin de comprendre ce que l'erreur représente et d'apporter des éléments théoriques permettant de prévenir sa formation.

⁵ Guidage présenté sous forme de pictogramme, c'est-à-dire sous forme de flèches simplifiées qui indiquent les intersections les unes après les autres.

III/ L'erreur dans le cadre de la conduite automobile

Nous avons pu observer lors du précédent chapitre que l'activité de conduite est une activité complexe qui nécessite en permanence des ressources attentionnelles de la part du conducteur pour mener correctement son activité. Dans ce contexte, la production d'une erreur, minime ou non, récupérable ou non, est loin d'être un cas isolé. A chaque instant un conducteur est susceptible d'en commettre une. Avec un objectif de prédition et de prévention, la prise en compte de l'erreur a pour objectif d'enrichir nos connaissances sur les interactions entre l'homme et son environnement en mettant l'accent sur les interactions entre le conducteur et son activité de conduite. Lors d'un accident par exemple, l'analyse de l'erreur permettra de déterminer la part de responsabilité qui incombe à l'homme et celle qui incombe à un facteur extérieur (Van Elslande et al. 1997). Il s'agit ainsi d'identifier les stratégies adoptées par le conducteur ou au contraire l'absence de stratégies. En effet, l'erreur fournit des informations sur les mécanismes inconscients (les biais cognitifs, les défauts de raisonnement, etc.) et apporte des éléments sur les modalités d'apprentissage.

Nous chercherons ainsi à déterminer les sous-tâches problématiques pour le jeune conducteur novice étant donné que chacune des sous-tâches qui composent l'activité de conduite est une source potentielle d'erreur. Notons, toutefois que certaines erreurs sont sans conséquences et/ou dans la plupart des cas récupérables : la coordination des sous-tâches de l'activité de conduite permettant de les minimiser ou de les récupérer par l'action d'une autre sous-tâche. Ces erreurs n'empêchent alors pas le conducteur d'effectuer son déplacement et sont considérées comme invisibles car elles sont repérées et corrigées en cours d'action (Van Elslande et al. 1997). Malgré cela, l'erreur peut dans certain cas, avoir des conséquences beaucoup plus importantes en termes de sécurité routière.

Dans ce contexte, deux théories nous paraissent incontournables. Dans un premier temps, nous reviendrons sur le modèle *Skill-Rules-Knowledge* (SRK) de Rasmussen (1983, 1986) que nous avons déjà introduit lors du paragraphe consacré à la prise de décision (cf.1-2-4). Nous le présenterons cette fois-ci pour expliquer l'évolution du degré de familiarité avec la tâche à accomplir. L'intérêt de ce modèle est qu'il explicite l'action des mécanismes inconscients en fonction de l'expérience. Ainsi, selon ce modèle, l'erreur proviendrait d'une défaillance de l'un des niveaux de familiarité. Notre attention portera également sur le modèle *Generic Error Modelling System* (GEMS) de Reason (1993) car il fournit une structure hiérarchique du fonctionnement cognitif basé sur le modèle SRK de Rasmussen (1983, 1986) et explique l'origine des erreurs.

2-1/ Spécificités de l'erreur

L'erreur humaine est reconnue comme étant à l'origine de la majorité des accidents (importants ou sans gravité) dans la plupart des domaines qu'ils soient médical, industriel ou encore celui de la conduite automobile. Sa responsabilité dans les accidents a ainsi conduit

à considérer l'erreur comme un indicateur incontournable d'évaluation des performances, la production d'une erreur n'étant généralement pas liée au simple hasard ou à des conditions extérieures défavorables. Un accident n'est pas le résultat d'une simple erreur mais est plutôt celui d'un enchaînement de causes, qui fait que l'erreur n'est pas détectée (ou trop tard) ou encore que sa gravité est mal évaluée. C'est ainsi que l'erreur est devenue, dès les années 70, un objet de recherche au travers de l'analyse des dysfonctionnements cognitifs (échecs au niveau des raisonnements). Par la suite, la prise en compte de l'erreur a évolué et les recherches s'orientent désormais sur les situations de gestion du risque. En effet, en se basant sur les défauts de raisonnement lors de ce type de situation, il est plus facile d'appréhender les processus cognitifs au travers des erreurs que dans des situations classiques et banales où les processus sont difficilement observables.

Tout ceci nous conduit à nous interroger sur le statut et la définition de l'erreur. Selon les disciplines, la notion d'erreur diffère. Pour un psychologue, l'erreur correspond au fait de ne pas avoir atteint l'objectif initialement fixé. Si l'on s'oriente vers le domaine de l'industrie, l'erreur fait référence à un écart par rapport à une norme ou encore à un accident mesurable par la gravité de ses conséquences. L'erreur humaine n'est jamais isolée. Elle résulte d'interactions issues du système « homme - activité - environnement » dans lequel l'homme évolue constamment. L'erreur est une caractéristique de l'action en cours, elle se produit toujours lors de l'exécution d'une tâche (Leplat, 1999). Plus l'homme gère efficacement ces interactions plus la probabilité d'erreurs est faible.

Lorsque l'on étudie l'erreur, il est avant tout nécessaire de savoir la déceler. On repère généralement une erreur lorsque les performances, à un instant donné, sont moins satisfaisantes que les performances habituellement atteintes (Rasmussen, 1986). D'après Reason (1993), Leplat (1999) et Van Elslande et al. (1997), une erreur peut être identifiée de deux manières : en prenant comme référence le résultat final de l'action ou en observant les moyens mis en œuvre pour accomplir l'action. Dans les deux cas, on vérifie la concordance entre ce qui a été réalisé et ce qui était attendu. En d'autres termes, l'erreur correspond à l'écart entre ce que le sujet projetait de faire et ce qu'il a fait réellement. Cela sous-entend l'idée de « *déviation par rapport à une norme standard* » (Leplat, 1999). Rasmussen (1986) précise également l'importance du jugement humain dans la détection d'une erreur. Elle est reconnue selon les attentes et les intentions de l'homme (Reason, 1993). Autrement dit, si le résultat final ne correspond pas aux attentes, il sera considéré comme un échec. L'intention sous-entendue ici comporte deux éléments : une expression de l'état final à atteindre et une indication des moyens par lesquels cet état doit être atteint. Dans la majorité des actions quotidiennes, les intentions préalables ou les plans sont tout au plus des images mentales. A mesure qu'une action se répète et devient routinière, la quantité de repères intentionnels se réduit.

Il est important de noter que les données relevées fournissent une indication sur les origines des erreurs. Ainsi, la distinction entre « type d'erreur » et « forme d'erreur » proposée par Reason (1995) est essentielle. La notion de « forme d'erreur » correspond aux formes récurrentes de défaillances, quelle que soit l'activité cognitive. Les formes d'erreurs se reflètent dans les fautes, les lapsus ou encore les ratés. Ensuite, les « types d'erreurs » sont définis selon leur origine. Les erreurs sont ainsi situées parmi trois étapes. La première étape, l'étape de *planification*, met en jeu divers processus permettant d'identifier le but à atteindre et les moyens pour y parvenir. Ces plans ne sont pas immédiatement mis en œuvre et sont stockés pendant une durée variable. La seconde étape, l'étape de *stockage* se situe entre la formulation des actions souhaitées et leur exécution. La dernière étape, l'étape d'*exécution* recouvre les processus impliqués dans la mise en œuvre effective

du plan mémorisé. Une erreur produite dans ce cheminement correspond à deux types d'événements : (1) une défaillance d'expertise lorsque les plans préétablis sont appliqués de façon inappropriée ; (2) un manque d'expertise lorsque le sujet ne dispose pas de mécanismes « routiniers » pour répondre aux exigences de la situation. Dans ce dernier cas, le sujet est contraint de développer un nouveau plan d'action à partir de ses connaissances, que celles-ci soient pertinentes ou non (cf. Rasmussen). En lien avec nos objectifs, nous porterons un intérêt particulier au « type d'erreur » afin d'avoir une explication des mécanismes cognitifs mis en jeu lors de la réalisation d'activités particulières.

Occurrence d'erreurs dans un environnement non familier

La probabilité de faire une erreur est d'autant plus élevée que le sujet évolue dans un environnement non familier. En effet, sur le plan cognitif, les erreurs peuvent provenir d'un dépassement des capacités de traitement de l'information (Van Elslande et al. 1997). La méconnaissance de l'environnement rencontré impose, à un instant donné, le contrôle d'un nombre important de paramètres qui doivent tous être traités efficacement alors que les ordres de priorités de traitement ne sont pas définis. Pour éviter l'erreur, le sujet doit optimiser les processus de traitement ; il s'agit d'automatiser les tâches routinières afin de traiter prioritairement les tâches non familiaires. L'erreur serait ici « *l'expression de caractéristiques organisationnelles trop contraignantes (charge de travail, contraintes temporelles, etc.) qui rendent momentanément inefficaces les capacités d'adaptation habituellement efficaces de l'opérateur* » (Leplat, 1985).

De plus, si l'on se réfère au modèle de Mica Endsley (1995) (cf. 1-2-3-2), l'erreur peut également être liée à un manque de connaissances. L'individu ne comprend pas forcément la situation rencontrée et ignore le comportement à adopter. Dans ce cas, les erreurs produites permettront d'enrichir le stock de connaissances et favoriseront ainsi la construction de modèles mentaux des situations. En effet, grâce aux erreurs effectuées, on se forge des connaissances importantes pour une réalisation parfaite de la tâche avec des possibilités d'anticiper les prochaines tentatives et de gérer au mieux les situations sources d'erreurs. L'individu emmagasine ainsi des informations aussi bien sur les comportements erronés que sur les situations où ils se produisent. La production d'erreurs est dans ce contexte bénéfique puisque l'augmentation du stock de connaissances témoigne du développement des compétences. En effet, avec une certaine expérience, il est possible de mettre en place des stratégies compensatoires lorsque les stratégies précédemment utilisées se sont avérées infructueuses. L'erreur ne doit donc pas être réduite à un simple aspect négatif synonyme d'échec. C'est par son intermédiaire que l'on acquiert les informations utiles pour cerner les propriétés d'un système et d'en comprendre son fonctionnement. Ainsi, une tentative pour réduire les erreurs lors de la phase d'apprentissage d'une tâche conduirait à restreindre les opportunités d'acquisition des connaissances. C'est en « *explorant activement le système que le sujet acquerra de meilleures connaissances* » (Leplat, 1999). « *La formation des erreurs favorisent les activités d'exploration* » (Leplat, 1999). L'exploration sous-entend ici une recherche active de la part du sujet pour développer ses connaissances.

Occurrence d'erreurs dans un environnement familier

Dans un environnement familier, l'erreur révèle les limites des capacités d'adaptation de l'homme. Lors de ces environnements, la confiance excessive d'un sujet envers

ses capacités de gestion et d'anticipation peut être une source d'erreurs (Van Elslande & Malaterre, 1996) et entraîner une inadaptation à la situation. Cela témoigne de la dépendance du sujet aux situations passées et à l'anticipation qui en découle. En effet, les hypothèses priment et les indices environnants capables de réactualiser et d'adapter les comportements à la nouvelle situation sont négligés (Keyser (De), 1989). Selon Mazeau (1993), le fait que l'homme soit un « *agent de fiabilité faillible* » permet de montrer que les processus qui, dans certains cas, permettent l'adaptation ou encore l'apprentissage sont, dans d'autres situations, mis en échec. Les erreurs constituent ici les « effets secondaires » d'un mode de fonctionnement souvent efficace, rapide et adapté à la complexité et au dynamisme de l'environnement (Keyser (De) & Nyssen, 1993). Ce qui est habituellement source de réussite sera inapproprié dans d'autres situations (Valot, et al., 1989). Un environnement familier suppose également des activités routinières pour l'individu synonyme de réalisation « automatique » et théoriquement sans erreur. Les comportements adoptés sont mis en place selon les automatismes existants et les changements dans l'environnement ne sont pas pris en compte. C'est la rigidité de certains automatismes qui est génératrice d'erreurs et qui conduit inévitablement à des ratés (Reason, 1993). Il est toutefois important de noter que, là encore, l'erreur est bénéfique car elle prévient la constitution d'automatismes trop rigides. Elle permet de mettre à jour les procédures précédemment automatisées et favorise la recherche de solutions lorsque les procédures ne sont plus adaptées.

Nous venons d'expliquer ce que représente l'erreur, comment elle est décelée et quelle est sa probabilité d'occurrence (environnement familial ou non familial). Le modèle *Skills-Rules-Knowledge*, qui suit, a tenté d'expliquer la production d'une erreur en fonction des caractéristiques de l'individu.

2-2/ Classification de l'erreur humaine

2-2-1/ Modèle « Skill – Rules – Knowledge »

Quelle que soit l'activité à réaliser, le comportement humain est par définition téléologique (Rasmussen, 1983, 1986), c'est-à-dire qu'il est dirigé par nos objectifs et par une recherche d'informations pertinentes. Selon Rasmussen (1983), un comportement téléologique dépend des expériences passées, lesquelles justifient de choisir une approche plutôt qu'une autre (Rasmussen, 1983, 1986). Le comportement n'est pas dirigé selon un schéma stimulus-réponse (résultat d'un dispositif avec une simple entrée et sortie). Le rôle de l'expérience prend ainsi toute son ampleur avec un comportement adapté selon le contexte rencontré.

Dans un environnement familial, les comportements ne sont pas dirigés par les buts mais sont régis par un ensemble de règles précédemment utilisées avec succès. En revanche, dans un environnement non familial où les règles connues sont inefficaces, le comportement est orienté par les buts. Selon le but à atteindre, plusieurs scénarii sont mis en place et testés afin de choisir la séquence d'actions la plus appropriée. Cette dernière sera sélectionnée en fonction des fluctuations de l'environnement (dynamique ou non), et en fonction des expériences passées. Le scénario choisi inconsciemment sera confronté à une représentation interne (correspondant au modèle des propriétés et des comportements de l'environnement). L'efficacité de ce traitement est liée à la disponibilité d'un large répertoire de différentes représentations mentales de l'environnement.

Lorsqu'il est confronté à une situation non seulement complexe mais aussi inconnue, un sujet n'a pas forcément connaissance des procédures à mettre en œuvre et de ce fait la production d'erreurs n'est pas surprenante. Comme nous l'avons déjà montré, seule l'expérience permet à un sujet de savoir les procédures à suivre face à une situation, même si celle-ci s'avère être complexe. Ainsi, pour comprendre une erreur, l'effet de l'expérience pour effectuer une tâche donnée doit être pris en compte. Il s'agit d'observer, pour une même tâche, les performances d'un novice et celles d'un expérimenté. Cela revient à observer la manière dont l'homme interagi et s'adapte à son environnement. Déterminer à quel moment un opérateur novice va faire une erreur et pourquoi l'opérateur expérimenté ne la fera pas. Est-ce l'effet du contexte ou un manque de compétence et de connaissances ? Le modèle de Rasmussen (1986) permet de comprendre ce fonctionnement et le rôle du niveau de familiarité avec l'environnement dans la production d'erreurs.

Les premiers travaux de Rasmussen ont porté sur l'analyse de l'erreur dans le domaine de l'industrie, pour rendre compte des mécanismes cognitifs impliqués dans l'adaptation aux environnements dynamiques. Les nouvelles technologies et la complexité des chaînes de production favorisent la production d'erreurs et les risques d'accidents. L'avantage du modèle de Rasmussen (1983, 1986) est qu'il prend en compte l'acquisition des compétences par l'intermédiaire du lien existant entre les connaissances acquises et le développement des processus d'automatisation. Rasmussen (1983, 1986) propose ainsi un cadre « habiletés-règles-connaissances » ou (*Skills, Rules, Knowledge*) avec trois niveaux de performances (figure 8). Le niveau basé sur les *habiletés* reflète les performances sensori-motrices effectuées à un niveau contrôlé. Le niveau basé sur les *règles* réfère aux buts et est dirigé par le savoir-faire. Enfin, le dernier niveau est, quant à lui, basé sur les *connaissances*. Ces trois niveaux réfèrent au degré de familiarité avec un environnement et mettent en avant la distinction entre les traitements automatiques et les traitements contrôlés. Ainsi, selon la quantité de connaissances acquises, le passage d'un niveau à l'autre sera différent et plus ou moins rapide. La distinction entre ces trois niveaux est utilisée pour relater les mécanismes psychologiques au travers des catégories d'erreurs. Afin de comprendre les mécanismes sous jacents à ce modèles, nous présenterons de manière détaillée ce que représente chacun des niveaux évoqués précédemment.

Comportement basé sur les habiletés (compétences)

Un comportement basé sur les habiletés est typique de situations familières où les comportements à adopter sont automatiquement reconnus et les performances sensori-motrices associées exécutées sans contrôle conscient. Une simple stimulation, qu'elle soit d'origine interne ou externe, déclenche le comportement approprié à la situation. Les automatismes peuvent être liés à des activités de nature sensori-motrice, telle que la marche, ou de nature cognitive telle une énigme à résoudre (Leplat, 1999).

Le développement de ces automatismes dépend du niveau d'expérience. Comme nous l'avons déjà évoqué, plus le nombre de situations rencontrées sera élevé plus le sujet aura un stock important de connaissances et enrichira son modèle mental. La richesse des modèles mentaux favorise le développement d'automatismes et détermine inconsciemment la façon de réagir. En effet, chaque activité humaine est considérée comme un ensemble de séquences d'actions. Un modèle mental est ainsi composé de plusieurs scénarii correspondant à chacune de ces séquences d'action. Ces dernières sont isolées mais appartiennent toutes à un même programme exécutif. Les compétences correspondent ainsi à l'habileté à choisir parmi un large répertoire de sous-tâches automatisées l'action

à entreprendre. A ce niveau, les erreurs sont soit des omissions soit des comportements inadaptés au contexte rencontré.

On peut illustrer ce niveau de performance par l'action de faire de la bicyclette. Chacune des sous-tâches (pédaler, tenir l'équilibre, diriger le vélo) fait partie d'un ensemble continu dynamique. Il s'agit d'une activité globale pour laquelle il est inutile de prélever des informations supplémentaires. Seules les informations destinées à mettre à jour la carte interne sont recherchées. Dans ce cas, le contrôle de l'activité prendra la forme d'une intention consciente pour mettre à jour le modèle du monde dynamique. Par exemple, par temps de pluie, le cycliste prendra en compte cette information afin de moduler ces compétences. Il continuera son activité avec cette donnée supplémentaire et il fera attention à la chaussée glissante. Faire de la bicyclette, comme toute autre activité est considérée dans un espace temps (Reason, 1993) où le système perceptivo-moteur agit comme un système de contrôle pour synchroniser l'activité avec les objets de l'environnement. Dans cet espace temps, les informations sont perçues comme des signaux c'est-à-dire des indicateurs quantitatifs, des données physiques, du comportement de l'environnement.

Comportement basé sur les connaissances

Ces comportements sont adoptés lorsqu'un sujet est confronté à une situation non familière où les procédures habituellement utilisées sont inefficaces. Face à un tel environnement pour lequel il n'y a aucun savoir-faire et aucune règle de conduite disponibles, le contrôle du comportement est effectué à un niveau conceptuel plus élevé où les actions se basent sur les connaissances et sont dirigées par les buts à atteindre. Rasmussen parle de comportement « goal controlled » (Rasmussen, 1983, 1986). Ainsi, un plan d'action est envisagé à partir des objectifs et surtout par l'intermédiaire de l'analyse de l'environnement. Tout d'abord, différents plans sont considérés pour être testés en fonction des objectifs à atteindre. Selon les effets observés et les erreurs commises, une sélection sera faite à un niveau physique, et à un niveau conceptuel par l'analyse et la compréhension des propriétés fonctionnelles de l'environnement mais également par la prédiction des effets des plans envisagés.

La compréhension de la situation nécessite une interprétation avant d'aboutir à une prise de décision et à la planification de l'action en temps réel. Les informations perçues sont traitées grâce aux connaissances acquises au cours de l'expérience. A ce niveau de raisonnement, la structure interne du système est explicitement représentée par un « modèle mental » qui prend plusieurs formes différentes. Les éventuelles erreurs sont liées à une limitation des ressources attentionnelles ou à des connaissances inefficaces.

Comportement basé sur les règles

En situation familière, les comportements sont régis par des règles ou des procédures basées sur les résultats des expériences précédentes. Les informations prélevées dans l'environnement permettent au sujet de procéder à des diagnostics. En fonction d'une tâche donnée, il identifie la situation et la code sous la forme de signes (par exemple, vitesse en kilomètre/heure, température) à laquelle il associe une action en référence à une tâche donnée. Les informations perçues comme des signes donnent ainsi des indications sur les propriétés fonctionnelles de l'environnement. Elles servent à modifier ou à activer les actions prédéterminées mais ne peuvent pas générer de nouvelles règles. Par exemple, lorsqu'un conducteur voit un panneau stop, il sait qu'il faut marquer l'arrêt. Les règles mémorisées fournissent des solutions déjà connues et conditionnent les comportements à adopter.

La frontière entre comportements basés sur les compétences et les comportements basés sur les règles dépend essentiellement du niveau d'expérience. Les comportements basés sur les compétences nécessitent aucune attention consciente alors que les comportements basés sur les règles exigent un savoir-faire explicite. Au dernier niveau de développement des compétences, les règles sont intégrées et les comportements sont automatisés quel que soit le type de traitement de l'information (perception, prise de décision et exécution de la réponse). Lorsqu'un conducteur atteint ce niveau, il n'est plus considéré comme un conducteur novice.

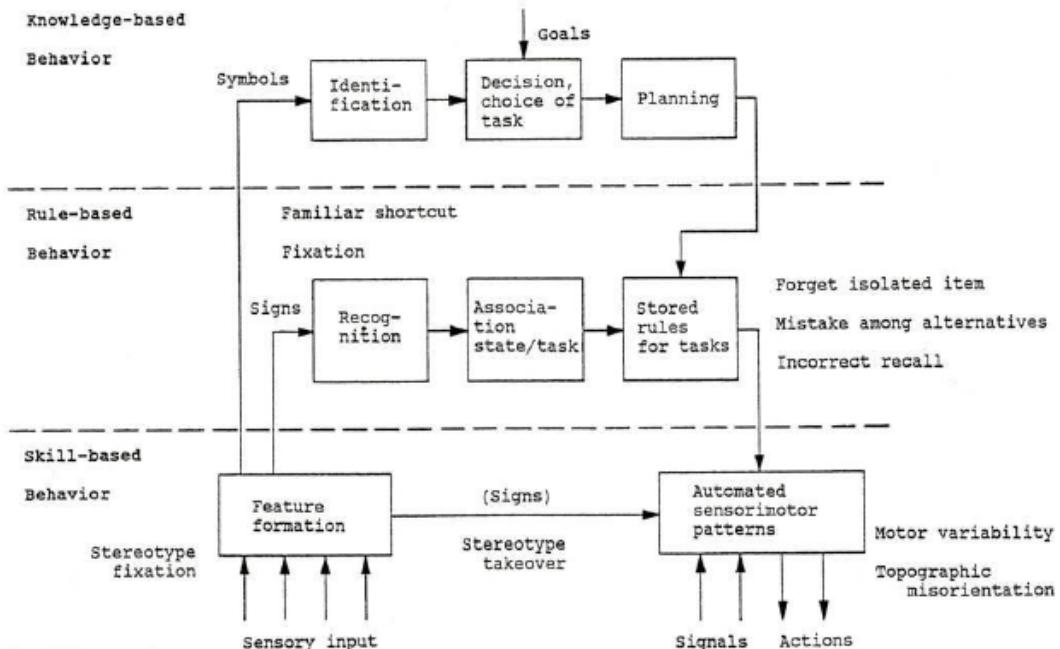


Figure 8: Mécanismes des erreurs humaines et leurs relations dans le contrôle des comportements

Source : schéma tiré de Rasmussen (1987)

Conclusion

Van Der Molen et Bötticher (1988) ont mis en correspondance le modèle de Rasmussen (1986) et les niveaux hiérarchiques de contrôle de l'activité de conduite automobile du modèle de Michon (1985). Ces auteurs ont tenté une superposition entre ces deux lectures à « trois niveaux hiérarchiques ». Par exemple, dans le cadre de l'activité de conduite, la manœuvre de franchissement d'intersection ne sera pas la même que le conducteur soit novice ou qu'il ait de l'expérience. Un conducteur expérimenté aura automatisé les sous-tâches sensori-motrices et pourra plus facilement orienter son attention sur les éléments pertinents de l'environnement routier. Le conducteur novice, quant à lui, aura recours à des processus contrôlés pour effectuer les sous-tâches de l'activité de conduite. Son attention sera consacrée, entre autre, au maintien de la trajectoire du véhicule, de sa vitesse. Ainsi, si l'on superpose le modèle de Rasmussen (1986) à celui de Michon (1985), il est évident qu'une même sous-tâche propre à l'activité de conduite correspond à des niveaux différents si le conducteur est novice ou expérimenté. Le simple changement de vitesse correspond à une habileté pour un conducteur expérimenté alors que pour un conducteur novice, cette sous-tâche correspondra successivement à un comportement basé sur les connaissances,

puis à un comportement basé sur les règles pour enfin devenir une habileté. Selon Van der Molen et Bötticher (1988), les comportements basés sur les habiletés correspondraient au niveau opérationnel, le niveau basé sur les règles correspondrait au niveau tactique et le niveau basé sur les connaissances correspondraient au niveau stratégique.

Ci-dessous (tableau 2) la superposition proposée par Hale et al. (1990) met en avant les points communs et les divergences qui existent entre ces deux modèles.

		Niveau de contrôle orienté sur la tâche		
		Strategic level	Tactical level	Operational level
Niveau de contrôle psychologique	Knowledge	Navigating in unfamiliar area	Controlling skid	Novice on first lesson
	Rule	Choice between familiar routes	Passing other vehicles	Driving unfamiliar vehicle
	Skill	Route used for daily commute	Negotiating familiar intersection	Vehicle handling on curves

Tableau 2: Classification des sous tâches de l'activité de conduite selon les niveaux de contrôle hiérarchique de Michon et l'approche de Rasmussen

Source: tableau tire de Ranney (1994)

2-2-2/ Modèle « Generic Error Modelling System »

Reason (1993) propose le *Generic Error Modelling System* (GEMS) afin de localiser les formes communes de l'erreur humaine (figure 9). L'objectif du GEMS est de fournir une structure simplifiée permettant de localiser les principales limitations cognitives et les tendances prédisant les variétés de l'erreur humaine. Ce modèle différencie deux concepts : les *slips* et les *mistakes*. Les *slips* correspondent aux erreurs réalisées au départ d'une action ou aux échecs de son exécution. Les *mistakes* correspondent aux situations où l'action suit un plan, l'échec proviendrait de l'inadaptation du plan pour atteindre le résultat envisagé. Le modèle GEMS résulte ainsi d'un mélange de deux théories de l'erreur :

- Les théories de l'action (Norman, 1981; Reason & Mycielska, 1982) : qui s'appuient sur la conviction qu'une théorie adéquate de l'action humaine doit rendre compte, non seulement la performance correcte, mais aussi des variétés les plus prédictibles de l'erreur humaine. Les formes d'erreurs systématiques et la performance correcte sont ici considérées comme deux faces d'une même pièce théorique (Reason, 1993). L'objectif de ces théories (fondées sur l'erreur) est de définir un système de contrôle qui, non seulement permette l'autonomie relative de programmes moteurs bien établis, mais qui rende également compte du fait que la plupart de nos actions ne se déroulent pas conformément à un plan.
- le *General Problem Solver* (GPS) de Newell et Simon (1972) : est un modèle informatique basé sur des règles qui a exercé une grande influence sur la conception actuelle de la résolution de problème. Il s'agit d'une théorie de résolution de problème appliquée lors d'échec dans les opérations avec des technologies à haut risque. L'analyse de la résolution de problème a été effectuée à partir de protocoles verbaux. Les auteurs ont demandé à des sujets de rédiger toutes les solutions provisoires qu'ils avaient et de « penser tout haut » pendant qu'ils résolvaient les problèmes. Au

centre de cette théorie se situe la notion d'espace-problème qui correspond à la fois à un ensemble d'états de connaissances possibles sur le problème et à un ensemble d'opérations qui sont appliqués à ces états pour produire des connaissances nouvelles. La stratégie de résolution de problème de base du GPS est la *stratégie des fins et des moyens*. Il s'agit de définir un but de haut niveau, d'examiner les différences entre l'état actuel et l'état but, de rechercher une méthode qui pourrait permettre de réduire cette différence, de se fixer comme sous-but l'application de cette méthode et d'appliquer de façon récursive la stratégie des fins et des moyens jusqu'à l'atteinte de l'état but (Reason, 1993) .

Dans le modèle GEMS, l'architecture du système cognitif est simplifiée. Le système cognitif opère un contrôle à plusieurs niveaux et exerce son influence simultanément sur des zones différentes. Le haut niveau du système de contrôle fonctionne sur le long terme et sur un large choix d'actions. Les hauts niveaux de traitement sont élaborés en fonction des objectifs de départ, en sélectionnant les moyens de les accomplir et en surveillant les traitements vers ces objectifs. Les résultats de ces planifications sont accessibles à la conscience. Il est ainsi important de relever que la conscience a une capacité limitée, sa fenêtre est restreinte et il n'est pas surprenant qu'une seule activité de haut niveau puisse être vue et modifiée à un moment donné. La limitation des ressources confère un rôle important au processus de sélectivité. En effet, plusieurs activités de haut niveau peuvent être disponibles à la conscience au même instant. Il faut pouvoir les traiter de manière cohérente pour mener à bien l'activité. Selon le GEMS, il y aurait des « agences » de hauts niveaux destinées à gouverner l'ordre dans lequel les traitements de bas niveaux sont exercés. L'inconvénient de cette manière de procéder est que le système de contrôle fonctionne seulement par intermittence.

Par ailleurs, une part non négligeable de l'activité cognitive est dirigée vers des traitements de bas niveaux tels que les schémas⁶, les scripts⁷, les règles. Ces derniers sont capables de fonctions indépendantes. Ils opèrent en réponse à un ensemble spécifique de données. La répétition de chacune des activités humaines résulte d'un transfert de contrôle des activités de haut niveau vers les activités de bas niveau.

Ainsi, le contrôle de l'activité provient de l'interaction entre deux modes de contrôle : le contrôle attentionnel et le mode schématique, plus connu sous le nom de contrôle automatique. Le contrôle attentionnel est lié à la mémoire de travail et à la conscience. En dépit de sa limitation en ressources, il permet de procéder à des analyses, de traiter les informations, de détecter et de récupérer les erreurs (*slips*). En revanche, le mode schématique n'a aucune limitation en termes de capacité. Il peut traiter les informations familiaires très rapidement sans implication consciente ni effort. Ce mode s'avère toutefois inefficace lors de situations imprévues.

Le GEMS identifie les erreurs selon deux aspects, celles qui précèdent la détection du problème (correspondant au *skill based level*), elles sont associées à une défaillance de

⁶ Selon Bartlett (1932), un schéma est une structure organisée qui intègre les connaissances et les attentes d'un individu pour un aspect du monde. Le schéma résume ce que le sujet connaît du monde. Il a pour effet principal d'aider à la compréhension. Selon Rumelhart (1978), les schémas sont des structures de données destinées à représenter les concepts génériques stockés en mémoire. Les schémas seraient comme des stéréotypes de concepts. Traiter une information revient alors à trouver le schéma en mémoire le plus adéquat pour la comprendre.

⁷ Un script est une structure qui décrit de séquences appropriées à un événement dans un contexte particulier. Les scripts traitent des situations de tous les jours. Ils ne fournissent pas un mécanisme pour traiter totalement des situations nouvelles. Un script est une séquence pré-déterminée, stéréotypée d'actions qui définit une situation bien connue (Bailly, 2004).

surveillance (*monitoring failures*) et celles qui suivent (*rules et knowledge*) qui font référence à une défaillance dans la résolution de problème (*problem solving failures*).

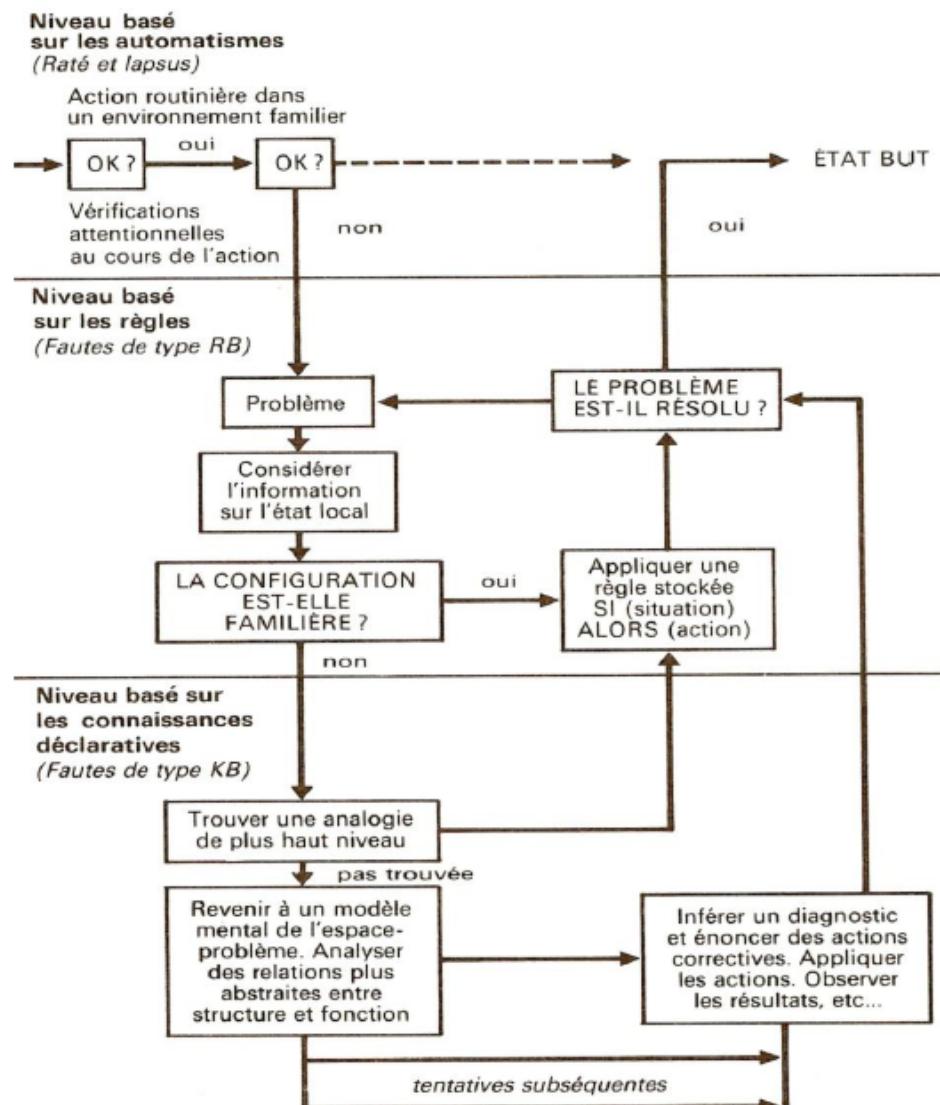


Figure 9: Modélisation de l'erreur selon Reason (1993)

Source : figure tirée de Reason (1993)

Echec dans la surveillance des défaillances

Selon Reason (Reason, 1987, 1993), l'erreur de type « ratés » ou « lapsus », résulte tout d'abord d'un défaut de surveillance des défaillances. Lors de situations familiaires, les actions entreprises sont définies comme une séquence de comportements programmés auxquels s'associe une vérification attentionnelle consciente ou non. Ces vérifications font appels à des niveaux de contrôle élevé et appartiennent à une boucle de contrôle pour établir si les actions mises en place suivent le plan envisagé et, à un niveau plus complexe, si le plan choisi correspond toujours aux objectifs.

Les séquences d'action sont impliquées comme une série de nœuds au travers desquels les actions ultérieures ont plusieurs choix possibles. Pour une efficacité maximale,

la vérification doit être associée à ces nœuds. Les erreurs arrivent lorsqu'il y a un mauvais mode de contrôle, un échec de surveillance attentionnelle. La production de ce type d'erreurs résulte d'une inattention. Au moment opportun, le système de contrôle oublie de procéder à ses vérifications. Le système de contrôle peut aussi exercer une « attention excessive », c'est-à-dire que la vérification attentionnelle sera effectuée à un moment inapproprié de la séquence d'action.

Défaillance dans la résolution de problème

Selon le GEMS, les tentatives de résolutions de problème ne sont pas toujours optimales. Face à une situation imprévue, un sujet persistera à chercher une solution préprogrammée (niveau basé sur les règles) au lieu de chercher une nouvelle solution et aller directement au niveau basé sur les connaissances et établir un nouveau plan d'action. Ce n'est qu'à la prise de conscience des échecs liés au niveau basé sur les règles que le sujet décidera de se référer au niveau basé sur les connaissances. Toutefois, selon Reason (1993), les sujets continueraient à chercher des indices pour les mettre en relation avec des règles qu'ils ont déjà en stock et qui leur permettraient de trouver la solution. Le niveau basé sur les connaissances est extrêmement coûteux ce qui expliquerait les raisons pour lesquelles les sujets ont tendance à mettre d'abord en correspondance ce qu'ils perçoivent avec des règles préprogrammées.

La présentation du modèle GEMS consécutive à celle du modèle SRK nous montre quelques points communs entre ces deux modèles, que nous allons expliciter au paragraphe suivant.

2-2-3/ Lien entre les deux modèles

Le point commun entre le modèle SRK et le modèle GEMS réside dans les différentes étapes relatives au degré de familiarité avec l'environnement. Le premier niveau, celui basé sur les compétences, du GEMS est relatif aux actions routinières dans un environnement familier. Il arrive cependant que certaines situations, pour lesquelles un recours attentionnel est nécessaire, ne puissent être réglées par des actions routinières. Ainsi, une des caractéristiques du GEMS est son recours préalable au niveau basé sur les règles pour essayer de résoudre le problème. Si le problème s'avère être mineur et que les règles fournissent immédiatement une solution, il y aura un retour rapide vers le niveau basé sur les compétences. Le cheminement se répétera autant de fois que le sujet rencontrera des difficultés.

Par la suite lorsque le système de résolution de problème ne trouve aucune solution convenable dans son répertoire basé sur les règles, il poursuivra avec un traitement basé cette fois-ci sur les connaissances. A ce niveau, les traitements sont effectués par analogies. A partir de la situation actuelle, on recherche la similitude parmi un ensemble de possibilités. Une analogie parfaite conduira à un ensemble de règles qui amènera l'activité vers un niveau de performances basées sur les règles aussi longtemps qu'il y aura recours à ces analogies particulières. Le cycle règle - connaissance pourra être répété autant de fois qu'il y aura de solutions à explorer.

Enfin lorsqu'une solution adéquate est trouvée, il n'y a plus besoin d'avoir recours au niveau basé sur les connaissances. Cette solution constitue un nouveau plan d'actions basé sur les compétences. Il est possible que le système de résolution de problème soit amené à accepter des solutions incomplètes ou pas forcément adaptées comme étant satisfaisantes malgré le risque d'arrêt prématuré de la recherche de solution. La

conséquence est qu'une telle erreur ne peut être détectée automatiquement. Toutefois, dès qu'une erreur est détectée, le système bascule de nouveau vers un mode basé sur les règles. A cet instant, les signes et symptômes changent en conséquence de l'activité précédente, autorisant de nouvelles solutions basées sur les règles. C'est de cette manière que le contrôle de l'action bascule continuellement d'un niveau de performances à l'autre.

Le GEMS met en avant le rôle de l'expérience dans la prédition des erreurs. Les erreurs susceptibles de se produire aux niveaux basés sur les compétences et sur les règles correspondent à des échecs lors d'actions routinières notamment en ce qui concerne la vérification attentionnelle. L'erreur la plus probable au niveau basé sur les règles est une correspondance inappropriée des patterns disponibles. Il semblerait que les formes d'erreurs soient déjà disponibles dans le répertoire de séquences d'actions ou de règles. Les erreurs basées sur les connaissances proviennent d'une interaction complexe entre le monde réel (la réalité) et un modèle mental incomplet. Il est plus difficile de prédire ce type d'erreurs. Il est seulement possible de repérer les facteurs situationnels qui contribuent à la production de l'erreur au niveau basé sur les connaissances. Selon le GEMS, la principale différence entre un conducteur novice et un conducteur expérimenté réside aux niveaux basés sur les habiletés et sur les règles. Selon Adelson (1984), les expérimentés ont une représentation de l'espace de problème plus abstraite que les novices. Dans le cadre de la conduite, les conducteurs expérimentés disposent d'une quantité plus importante de règles formulées à un niveau plus abstrait (représentations).

Les modèles précédemment exposés nous ont permis de comprendre l'action des mécanismes cognitifs et notamment la manière dont ils assurent le contrôle et l'exécution de l'action. Ces deux modèles mettent également en évidence l'origine de la production d'une erreur selon le niveau d'expérience d'un individu face à la tâche qu'il doit effectuer. L'intérêt est de pouvoir par la suite les mettre en relation avec l'activité de conduite afin déterminer les dysfonctionnements cognitifs qui ont mené à l'erreur, potentiellement source d'accidents lors d'un trajet.

2-3/ Contribution de l'erreur à l'analyse de l'activité de conduite

Avant d'exposer les différentes taxonomies de l'erreur proposée dans le cadre de la conduite automobile, il est important d'éclaircir la différence entre deux notions proches et souvent confondues : les notions d'erreur et de violation. Dans le cadre de la conduite automobile, cette distinction est tout particulièrement importante car les erreurs reflètent davantage un dysfonctionnement cognitif alors que les violations reflètent des déviations délibérées (Reason, 1993). « *On peut se tromper sans commettre de violation ; une violation n'implique pas nécessairement une erreur* » (Reason, 1993). L'erreur et la violation peuvent survenir indépendamment mais peuvent également (comme cela est souvent le cas) être présentes dans une même séquence d'action (Reason, 1993). Nous avons pu montrer, au début de ce chapitre, que l'erreur était décelée lorsque l'action entreprise présentait un écart par rapport au but souhaité. Cette conception réduit l'erreur à un simple défaut de traitement de l'information individuel et ne rend pas compte d'un autre aspect tout aussi important. En effet, les individus évoluent dans des contextes particuliers (un milieu social avec des règles) au travers desquels les actions ne peuvent plus être planifiées individuellement mais sont également sous l'influence du contexte. Reason (1993) précise ainsi que les erreurs sont

définies en lien avec les processus cognitifs individuels alors que les violations sont définies en rapport avec le contexte dans lequel évolue l'individu et par lequel les comportements sont dirigés par des procédures prédéfinies, des règles, etc.

Dans le domaine des transports, une étude américaine (Treat et al. 1979) rapporte que les erreurs de conduite seraient responsables de 93% des accidents. Globalement, on identifie quatre familles de sources d'erreurs : (1) les conditions dans lesquelles se trouve le conducteur à un moment donné (son état physique, émotionnel ou mental, etc) (2) les causes directement liées au conducteur (notamment au travers des étapes du traitement de l'information) ; (3) les facteurs environnementaux (pluie, verglas..) ; (4) les facteurs propres au véhicule (état du véhicule). Sabey et Taylor (1980) ont cherché à identifier la part de responsabilité qui incombe à chacun des éléments du système « homme - environnement - tâche ». Pour ces auteurs, 65 % des erreurs seraient liés au conducteur, 28% seraient liés au facteur contextuel (environnement routier) et 8.5% seraient liés au véhicule.

L'impact de l'erreur dans les accidents de la route a ainsi incité de nombreuses études à déterminer les sources des erreurs et à catégoriser ces erreurs en fonction des étapes du traitement de l'information. Il s'agissait de différencier les erreurs liées à des défauts de perception et/ou d'interprétation, les erreurs liées à la prise de décision et enfin les erreurs liées à l'exécution de l'action. Selon Najm et al. (1995), les accidents sont principalement causés par des erreurs au niveau des mécanismes de reconnaissance et de prise de décision. Il s'agit essentiellement d'erreurs d'inattention, d'erreurs liées au phénomène *look but failed to see* (LBDNS)⁸ ou encore à de mauvaises estimations des distances. Brown (2001) a ainsi réparti l'influence de chacun des mécanismes psychologiques dans la production d'une erreur : 40% des erreurs seraient liées à un problème d'attention, 25% des erreurs proviendraient de problèmes perceptifs (LBDNS, mauvais jugement de la vitesse et des distances), 15% seraient liés à un défaut de jugement. Brown (2001) explique les erreurs liées au phénomène LBDNS par les limitations des capacités de traitement de l'information ou par la non mise en place des processus d'attention sélective, qui ne permettent pas de déterminer les traitements à effectuer en priorité. Selon Rumar (1990), les erreurs dues à une mauvaise détection proviennent souvent d'un défaut de la vision périphérique ou d'une erreur à un niveau cognitif (ne pas regarder dans la direction de l'information à prélever).

Le tableau ci-dessous (tableau 3) expose les types d'erreurs, source d'accident, en fonction des mécanismes psychologiques mis en jeu. L'intérêt de ce tableau est qu'il est superposable aux étapes de la chaîne du traitement de l'information. On y retrouve les comportements erronés de conduite liés à des défauts de perception. On y distingue également de quelle manière de mauvaises prises de décision se répercutent sur l'activité de conduite (vitesse excessive, mauvaise estimation de distance, etc.).

Tableau 3: Taxonomie des principaux facteurs pour les analyses d'accidents

⁸ Le phénomène *look but failed to see* réfère aux situations où un conducteur est impliqué dans un accident alors qu'il regardait dans la bonne direction. Il n'a pas pris en compte le véhicule ou le piéton par exemple avec lequel il a eu cet accident.

Error types	Error descriptions
Recognition errors	Inattention Looked, but did not see Obstructed vision
Decision errors	Tailgating Unsafe passing Misjudged gap or / and velocity Excessive speed Tried to beat signal or other vehicle
Erratic actions	Failure to control vehicle Evasive manoeuvre Violation of signal or sign Deliberate unsafe driving act Miscellaneous

Source : d'après Stanton et Salmon (2009)

Wierwille et al. (2002), présentent une recherche réalisée par *The Virginia Tech Transportation Institute* qui vise à étudier la nature et les causes des erreurs commises par les conducteurs ainsi que leur rôle dans l'occurrence d'accidents. Ils développent ainsi une taxonomie des facteurs responsables d'accidents avec un accent mis sur les conditions latentes et les erreurs spécifiques aux conducteurs. Selon cette taxonomie, quatre groupes différents de facteurs sont en cause lors d'accidents : (1) connaissances inadéquates, défaut d'entraînement ou de compétences, (2) dégradation, (3) comportements inappropriés, (4) problèmes environnementaux ou d'infrastructures. La figure 10 présente de manière détaillée ces quatre facteurs.

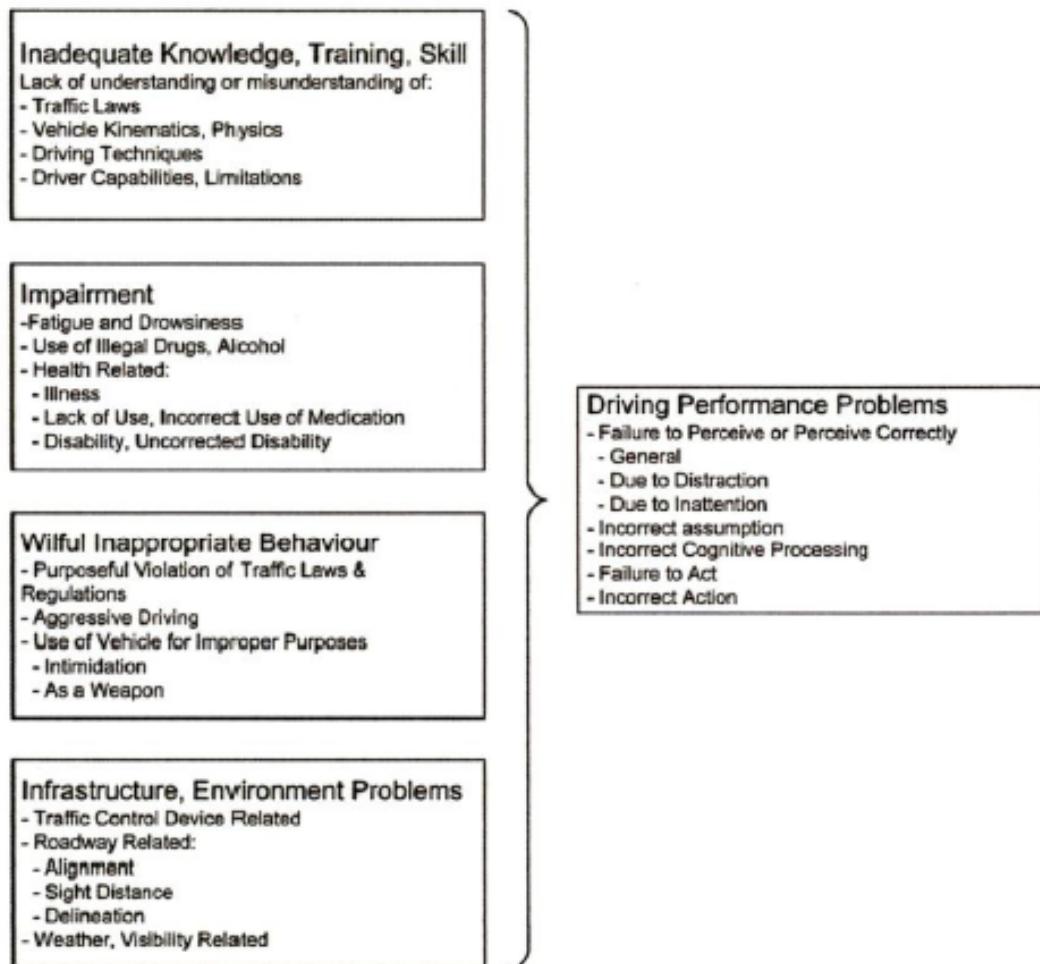


Figure 10: Facteurs responsables d'accidents selon Wierwille et al. (2002)

Source : Figure tirée de Stanton et Salmon (2002)

De plus, si l'on se réfère au modèle de Mica Endsley (1995) (cf. 1-2-3-2), une majorité d'erreurs peut être associée à la conscience de la situation du conducteur. Il a été démontré qu'une baisse de la conscience de la situation serait source d'erreurs et cause d'accidents. Dans le domaine aérien, Endsley (1988) rapporte que 88% des accidents causés par une erreur humaine sont davantage attribués à des problèmes de conscience de la situation qu'à des problèmes de prises de décisions.

Par ailleurs, une taxonomie qui nous semble exhaustive et complète est celle constituée par Stanton et Salmon (2009). En s'appuyant sur les données de la littérature relative à l'erreur humaine, Stanton et Salmon (2009) ont extrait les erreurs jugées applicables à l'activité de conduite (tableau 4). Nous porterons un intérêt tout particulier à cette taxonomie car elle associe l'erreur produite aux mécanismes psychologiques impliqués. Il ne s'agit pas d'un simple récapitulatif des erreurs possibles mais ils y développent un lien avec les mécanismes cognitifs sous-jacents et responsables de la production de l'erreur.

Tableau 4: Taxonomie des erreurs de conduite mise en correspondance avec les mécanismes psychologiques sous-jacents

Underlying psychological mechanism	External error mode	Taxonomy source
<i>Action errors</i> Action execution Action execution Action execution Action execution Action execution Action execution Action execution Action execution, planning, and intention	Fail to act Wrong action Action mistimed Action too much Action too little Action incomplete Right action on wrong object Inappropriate action	Fail to check rear mirror Press accelerator instead of brake Brake too early or too late Press the accelerator too much Fail to press the accelerator enough Fail to turn the steering wheel enough Press accelerator instead of break Following too close, race for gap, risky overtaking,etc.
<i>Cognitive and decision making errors</i> Perception Perception Attention Attention Situation assessment Perception	Perceptual failure Wrong assumption Inattention Distraction Misjudgement Looked but failed to see	Fail to see pedestrian crossing Wrongly assume a vehicle will not enter path Nearly hit car in front when queuing Distracted by secondary task e.g mobile phone conversation e.g misjudged speed of oncoming vehicle, misjudge speed and distance, misjudge gap Looked at road ahead but failed to see pedestrian
<i>Observation errors</i> Memory and recall Memory Situation assessment Memory and recall	Failed to observe Observation incomplete Right observation on wrong Object Observation mistimed	Failed to observe area in front of vehicle Failed to observe offside mirror when changing lanes Failed to observe appropriate area Looked in drivers side mirror too late when changing lane
<i>Violations</i> Actions execution, planning, and intention Action execution	Intentional violation Unintentional violation	Overtake on the inside, knowingly speed Unknowingly speed

Source : Production propre à partir de Stanton et Salmon (2009)

Les modèles précédemment évoqués nous exposent les principales données dont on dispose au sujet de l'erreur et offrent une taxonomie des erreurs susceptibles de se produire pendant l'activité de conduite. Ce champ théorique de l'erreur va nous permettre de comprendre les modalités d'apprentissage de l'activité de conduite. Comment l'inexpérience influence le taux d'erreurs. Pourquoi les conducteurs novices sont davantage vulnérables et pourquoi leur taux d'erreurs est plus élevé que celui des conducteurs expérimentés. Pour cela, nous présenterons deux méthodes d'investigation de l'erreur dans le domaine de la conduite automobile afin, d'une part de comprendre son occurrence et d'autres part, de déterminer un moyen d'y pallier quelle que soit la situation de conduite.

En fonction de nos objectifs de recherches, nous ne considérerons pas l'erreur comme un échec. Nous partirons du principe que l'erreur n'est pas irréversible et qu'elle est à prévenir et à éviter. Ses caractéristiques constituent un moyen de l'évaluer et de la corriger, comme le souligne Leplat (1999), « *on peut se servir de l'erreur pour la combattre* ». L'erreur a ainsi été prise en compte de différentes manières. Nous présenterons ainsi, l'approche

comportementale utilisée par Risser (1985) sur laquelle nous nous sommes basés pour l'aspect méthodologique de notre première expérimentation.

L'approche comportementale de Risser (1985)

Risser (1985) a développé une approche comportementale afin d'identifier les comportements susceptibles de causer un accident. Cette méthode a l'avantage de passer outre les paramètres habituels de mesure, tels que le calcul des temps de réactions, le recueil de paramètres véhicules, etc., et d'apporter des éléments nouveaux et complémentaires. La méthode, appelée « *Wiener Fahrprobe* », a consisté dans un premier temps à observer et relever l'ensemble des actions des conducteurs sur un trajet prédéfini ; il s'agit de l'observation libre. L'objectif de Risser (1985) était de déterminer les comportements susceptibles d'augmenter la probabilité d'accident et de présenter une typologie des erreurs de conduite. L'usage d'une grille d'analyse a été privilégié par la suite. Après avoir défini un comportement de conduite standard, une série de variables du comportement « type » est déterminée pour composer cette grille. Cette nouvelle grille comprenait vingt trois items (tableau 5). Un premier groupe d'items était destiné au codage des comportements sur l'ensemble du parcours et un second au codage de situations spécifiques.

<i>Observation sur l'ensemble du circuit</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Use of lateral indicator (late, not at all) - Accuracy of lane use (extremely on the right or left side of a lane) ** - Timing of lane change in the case of obstacles (very early, in the last moment) - Performances of evasive actions (abruptly, not at all reacting) - Lateral distance to sidewalk or other vehicles (too small) ** - Distance to the preceding car (too small, too large) - Choice of speed (above the limit, below the speed limit) - Continuity of speed (fluctuating) - Taking care of pedestrians (eg lateral distance, speed adjustments, etc.)
<i>Observation dépendant de la spécificité des sections du circuit</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Driving in curves - Choice of lane at an intersection with several alternatives for proceeding afterwards** - Lane change while entering at junctions (e.g. lane change for vehicles not having the right-of-way) - Choice of traffic lane (right, middle, left) - Performance of lane change (hesitating, abruptly) ** - Slowing down before crossroads and / or before turning points (very late or too late; not at all despite necessity) - Endangering road users who have the right-of-way * - Behavior in situations, where road users coming from the right have the right-of-way (even in the case that no road user is coming) * - Behavior when right-of-way for the cross traffic is explicitly defined by a traffic sign (also to be observed when no road user are on the road with the right-of-way) - Behavior at stop signs * - Turning left against oncoming traffic - Behavior in front of traffic lights * - Driving past other vehicles in the same direction although their speed is above the limit (on highways or more-lane roads) - Overtaking other vehicles despite oncoming traffic, despite overtaking being prohibited, etc.

Tableau 5 : Grille d'observation utilisée par Risser (1985)

Source : tirée de Risser (1985)

Au travers de ce chapitre consacré à l'erreur, nous avons montré et expliqué les raisons de la production d'une erreur. Le degré de familiarité avec une tâche ou plutôt l'expérience sont primordiales pour éviter la production d'erreurs. Ainsi, compte tenu de son importance, nous consacrerons le chapitre suivant à l'effet de l'expérience sur les performances de conduite. Nous orienterons plus particulièrement notre discussion sur la population des conducteurs novices afin de montrer de quelle manière un faible niveau d'expérience se traduit au niveau de l'activité de conduite.

III/ Effet de l'expérience sur les performances de conduite : les conducteurs novices

Avant de s'intéresser aux caractéristiques des conducteurs novices et à leurs compétences de conduite, il nous paraît essentiel de revenir sur la notion fondamentale de compétences. En effet, c'est à partir de ce concept que l'on peut décrire et expliquer les conduites (des opérateurs) qui ne se produisent pas de manière aléatoire et imprévisible mais qui signalent clairement ce que chacun sait (De Montmollin, 2001).

Selon Cornaton-Roche (1997), il convient dans un premier temps de différencier ce qui relève de la compétence de ce qui relève des compétences. La compétence identifie la structure interne (la boîte noire) alors que les compétences réfèrent aux conduites observables, aux sorties (outputs) (Cornaton-Roche, 1997). Pour notre propos, étant donné que la tâche de conduite repose sur un savoir-faire et s'effectue au travers d'un environnement dynamique, nous conviendrons de garder la formulation au pluriel. En effet, c'est à partir des conduites observables que nous comprendrons les fonctionnements cognitifs des conducteurs.

De Montmollin (2001) précise que les compétences correspondent à des structures mentales où s'articulent tous les éléments à partir desquels on réalise une tâche (les connaissances sur le fonctionnement et sur l'utilisation des « machines »). On retrouve ici les *knowledges* et les *rules* décrits par Rasmussen (1983), les représentations, mais aussi les savoir-faire (les raisonnements), ainsi que les schémas stratégiques de planification des activités.

Par ailleurs, si l'on cherche à déterminer la manière dont les compétences sont acquises, on ne peut simplement la décrire en termes purement psychologiques, il faut aussi caractériser les tâches correspondantes. En effet, une manière d'éclairer la notion de compétences est de l'articuler à celle d'activité. Il s'agit de porter son intérêt sur ce qui est demandé et ce qui est réellement fait (Cornaton-Roche, 1997). La réalisation d'une activité dépend, d'une part, de la tâche à effectuer qui fixe les objectifs à atteindre et les conditions à prendre à compte. D'autre part, elle dépend des conditions internes à l'individu (de ses compétences).

3-1/ Caractéristiques des conducteurs novices

Nouvellement qualifiés et forts d'une formation complète, les jeunes conducteurs novices constituent une population à risque en termes de sécurité routière et sont surreprésentés dans les accidents. Un taux qui reste malheureusement élevé quel que soit le type d'accident et le moment de la journée. Selon Williams (1999), les jeunes conducteurs novices américains (âgés de dix neuf ans maximum) sont impliqués dans dix sept accidents

par millions de miles effectués alors que l'implication des conducteurs expérimentés (âgés de quarante à quarante quatre ans) le sont dans seulement quatre à neuf accidents par millions de miles effectués.

Les premiers mois suivant l'obtention du permis de conduire sont particulièrement sujets aux collisions (Sagberg, 1998) car les jeunes conducteurs novices sont, non seulement inexpérimentés mais aussi et surtout car ils sont « jeunes ». Ce jeune âge est connoté négativement car il est associé à des « motivations » et à des styles de conduites particuliers qui incitent les jeunes conducteurs à prendre des risques inutiles (Laapotti et al. 2001). Selon la théorie du *risk homeostasis* (Wilde, 1982), un des principaux déterminants de leur taux d'accidents est le niveau de risque qu'ils choisissent. En effet, malgré leur manque de compétences (Matthews & Moran, 1986), les jeunes conducteurs novices n'hésitent pas à adopter des comportements de conduite risqués (Näätänen & Summala, 1976). La vitesse à laquelle ils roulent est souvent excessive et ils ne respectent pas toujours les distances de sécurité. Par ailleurs, l'attention que ces conducteurs portent à leur activité de conduite est facilement détournée, la moindre source d'information saillante attire leur regard. Ils sont rapidement distraits par des éléments non pertinents pour leur tâche de conduite. Un état d'esprit qui ne semble pas les contrarier étant donné leur tendance à surestimer leurs capacités de conduite. Quelle que soit l'erreur commise, les jeunes conducteurs novices se sentent en mesure de pouvoir la récupérer. Ils ont également tendance à adopter des comportements dits « de frime » en présence de passager. La conduite devient approximative et les erreurs de conduite de plus en plus fréquentes. En outre, en raison de leur style de vie et des mœurs qui lui sont associées, ils conduisent souvent sous l'influence de l'alcool et de nuit (Gregersen & Berg, 1994; Laapotti, Keskinen, Hatakka, & Katila, 1996).

Rumar (1985) souligne un taux d'accidents plus élevé de nuit qu'en journée chez les conducteurs novices. Une des raisons de ce taux est liée à la moindre qualité de la perception des informations présentes. La perception nocturne est dégradée et l'acquisition des informations n'est pas optimale. Malgré cela, les conducteurs novices ne prennent pas en compte les limites de leur système perceptif et ne cherchent pas à mettre en place des stratégies compensatoires (McDonald, 1994). Bien au contraire, les comportements de conduite sont inappropriés et l'on observe, par exemple, davantage de non-respects des limitations de vitesse de nuit. Le risque d'accidents est ainsi non seulement lié à l'imprécision des informations perçues mais aussi à l'inexpérience de ces conducteurs qui ne savent pas encore gérer ce type de situations. Ainsi, si l'on se réfère au modèle de Rasmussen (1986), la conduite de nuit implique une capacité à évoluer d'un niveau de compétences vers un autre. Ce qui est effectué de manière automatique chez un conducteur expérimenté nécessite pour un conducteur novice un effort supplémentaire afin de basculer d'un niveau de compétence à l'autre. De nuit, le conducteur doit fournir un contrôle supplémentaire afin de rechercher les informations pertinentes. Il bascule ainsi vers un mode contrôlé. Un conducteur novice pourra ressentir des difficultés à effectuer ce basculement. Des stratégies d'allocation de l'attention et de recherche d'informations doivent être mises en place afin de repérer l'indice qui précise le déclenchement du changement nécessaire. La pauvreté des modèles mentaux des situations rend ce changement coûteux et par conséquent un conducteur novice aura plus de difficultés à anticiper les événements à venir.

La période consécutive à l'obtention du permis de conduire montre un taux élevé d'accidents (Mayhew, Simpson, & Pak, 2003) avec un risque d'avoir un premier accident plus important durant les premiers mois de permis que durant les mois suivant (McCartt, Shabanova, & Leaf, 2003). Durant les premières années de conduite, le taux d'accidents

n'est pas proportionnellement réparti avec un taux nettement supérieur lors des premiers mois de pratique (Mayhew, et al., 2003). Ce n'est que progressivement que le risque d'accidents diminue avec le gain d'expérience (Drummond, 1989; Mayhew, et al., 2003; McCartt, et al., 2003). En effet, pour Mayhew et al. (2003), c'est à partir de sept mois d'expérience qu'une diminution du nombre des accidents est observée et cette baisse devient significative après neuf à dix mois d'expérience. Cela confirme l'hypothèse d'un taux d'accident plus élevé des jeunes conducteurs en raison de leur statut de novice.

Cependant, il est difficile d'attribuer ce risque d'accident à l'inexpérience plutôt qu'au jeune âge de ces conducteurs. Généralement un effet conjoint de ces deux facteurs est mis en avant. Il semblerait que l'acquisition des compétences couplée au gain de maturité (moins de comportements de « frime » inutiles) aient un impact positif en termes de sécurité routière (Mayhew, et al., 2003). Il est ainsi intéressant de distinguer la part du facteur âge de la part du manque de compétences. En prenant comme base une expérience égale à six mois, Clarke et al. (2006) ont cherché à déterminer si le risque d'accidents était identique pour les conducteurs de 17 ans que pour ceux de 24 ans. Ils ont conclu que les plus jeunes présentent un taux d'accidents plus élevé. Mayhew et al. (2003) ont également tenté de montrer la responsabilité du facteur âge dans les accidents. Ils ont comptabilisé et comparé le taux d'accidents de deux groupes de conducteurs novices : des conducteurs âgés de 16 à 19 ans et des conducteurs âgés de 20 ans de même expérience de conduite. Les plus jeunes ont un taux d'accidents deux fois plus important que les conducteurs du second groupe (Mayhew, et al., 2003). Il semble que l'effet de l'âge soit davantage prononcé dès les premiers mois de pratique. Pour Maycock et al. (1991), le risque décroît de 59% avec l'expérience et de 31% avec l'âge.

Toutefois, ce gain d'expérience est inégalement réparti entre les différentes compétences de conduite à acquérir. Certaines sous-tâches de l'activité de conduite sont rapidement assimilées alors que d'autres nécessitent encore un apprentissage (Sagberg, 1998). Selon Sagberg (1998), le taux d'accident diminue, mais cette diminution est différente selon le type de collisions. Sagberg (1998) l'explique par le fait que l'acquisition des compétences est inégale. Par exemple, les accidents les plus rapidement évités sont ceux où seul le conducteur est impliqué tels que les accrochages en manœuvre de stationnement ou encore le frottement d'un trottoir. En effet, si le conducteur maîtrise son véhicule, à savoir le contrôle de la trajectoire ou encore la régulation de la vitesse, il réduira considérablement ces types d'accidents. Les déviations de trajectoire sont ainsi réduites car les premières compétences acquises concernent le contrôle du véhicule et la régulation de la vitesse. En maîtrisant mieux son véhicule, le conducteur divise par trois ses risques d'accident. Notons par ailleurs une diminution des accidents impliquant plusieurs véhicules dès les deux premiers mois d'expérience (Mayhew, et al., 2003).

Cela met en avant, une caractéristique propre aux conducteurs novices, à savoir le nombre élevé d'erreurs commises durant un trajet, que celles-ci soient récupérables ou non. Ces erreurs sont le résultat du manque de compétences (Matthews & Moran, 1986) aussi bien au niveau tactique⁹ qu'au niveau opérationnel (Laapotti et al. 2001). Cela sous entend que la structure cognitive « vitale » pour la conduite n'est pas développée. La gestion des processus cognitifs est encore au stade de développement. Par ailleurs, ces erreurs

⁹ Le niveau tactique, au travers duquel la conscience de la situation tient un rôle important, permet d'adopter des comportements anticipatoires (Van Zomeren et al, 1988). A ce niveau, les prises de décision requièrent un contrôle cognitif pour la sélection des informations, pour la rapidité de traitement et pour adapter le comportement de conduite vers les buts choisis. Par exemple, lorsqu'un conducteur envisage un dépassement, il perçoit les informations relatives au trafic, les intègre et adapte son comportement de conduite en conséquence. Il régulera sa vitesse et respectera les distances inter-véhiculaires.

peuvent provenir soit de la non application des règles apprises soit de la méconnaissance de ces règles (Brown et al. 1987).

Les paragraphes suivants reviendront sur le développement des compétences et plus spécifiquement sur le développement des compétences attentionnelles et perceptives.

3-2/ Développement des compétences

Comme cela a été évoqué précédemment, les compétences des conducteurs résultent de la mise en place de schémas qui orientent l'activité de conduite. Selon Neisser (1976), un schéma est « *un pattern d'actions aussi bien qu'un pattern pour l'action* ». Cela signifie qu'un ensemble d'éléments de ce schéma, facilite la gestion des situations complexes. Il s'agit des composantes perceptives, des processus attentionnels, du traitement de l'information, des capacités de prise de décision. L'expérience de conduite peut être vue comme facilitant la progression « *d'un mode stimuli-réponse vers un mode préprogrammé qui rend les performances relativement stable* » (Riemersma, 1979). Ainsi, l'inexpérience des jeunes conducteurs novices est essentiellement liée à la non construction ou à la construction non aboutie de modèles mentaux adéquats. Les données habituellement issues de ces modèles fournissent des informations précises et détaillées sur les différentes situations susceptibles de se produire dans l'environnement routier. Cela permet au conducteur d'anticiper les événements futurs et d'avoir des attentes plus justes sur « ce qui peut arriver prochainement ». Le stock de connaissances a ainsi une influence directe sur le comportement et les compétences de conduite. Il y a ainsi indéniablement une relation entre le manque de connaissances des jeunes conducteurs novices et les comportements erronés qu'ils adoptent. Leurs stratégies de conduite sont encore dépendantes des règles formelles apprises durant leur formation. Cela sous-entend un faible développement des modèles mentaux des situations sur lesquels on se base habituellement pour orienter notre perception. En effet, c'est au travers de ces modèles que dépendent nos attentes. Par conséquent les conducteurs inexpérimentés ont une plus mauvaise conscience de la réalité actuelle, de l'évolution du système routier et des actions des autres usagers.

Les différences de compétences se retrouvent dans la perception du risque. La perception du risque est définie comme le processus de détection, d'identification et de réaction face à des situations potentiellement dangereuses. Chez les conducteurs novices, les éléments risqués sont non seulement perçus tardivement mais ne sont pas considérés comme dangereux. Ils sont moins capables de percevoir et d'évaluer une situation risquée et sous estiment le risque (I. D. Brown & Groeger, 1988). S'ils se trouvent face à une situation d'urgence, ils auront peu de possibilité d'anticipation pour adapter leur comportement de conduite. Cette sous-estimation du risque peut avoir plusieurs sources. Elle peut être attribuée à une sous-estimation du danger potentiel, au fait qu'ils n'ont pas vu le danger ou encore à la surestimation de leurs capacités de conduite. L'identification du risque dépend à la fois de l'acquisition générale des compétences de contrôle du véhicule et de l'acquisition de compétences plus spécifiques (perception et compétences cognitives), lesquelles sont basées sur des représentations internes, ou des schémas cognitifs de la nature du système routier et du risque. Comme nous l'avons précisé, une augmentation de l'automatisation des compétences de conduite réduit la demande attentionnelle totale de la conduite et libère les capacités mentales pour le traitement des informations de l'environnement routier. En conséquence, les compétences de perception du risque des novices peuvent être

altérées car les ressources attentionnelles sont en général allouées au véhicule. Le style de conduite risqué n'est pas forcément délibéré chez les jeunes conducteurs novices mais peut être le résultat de leur inexpérience et du faible développement de leurs compétences. Par exemple, lors d'une situation d'urgence (un piéton qui surgit), le jeune conducteur novice aura des difficultés à modérer sa vitesse en raison des faibles compétences de perception du risque ou car il ne sait pas où positionner son véhicule afin de minimiser l'accident. La perception du risque implique non seulement l'évaluation du risque potentiel dans l'environnement routier mais aussi l'évaluation des habiletés du conducteur à prévenir les risques potentiels pour éviter qu'ils ne se transforment en accident (Brown & Groeger, 1988). Même si toutes les situations ne sont pas potentiellement dangereuses, seul un conducteur plus expérimenté sera capable de quantifier le degré du danger et de lui fournir une réponse appropriée s'il y a un réel danger (Ferguson, 2003).

Quimby et Watts (1981), en utilisant un support vidéographique, ont montré que les jeunes conducteurs novices avaient des temps de réaction plus longs que les conducteurs expérimentés si une situation potentiellement dangereuse se présente. Pour ces auteurs, l'augmentation des temps de réponse est une conséquence du faible développement de leurs « représentations internes » qui engendre des difficultés à reconnaître les situations potentiellement dangereuses. Les projections des situations à venir correspondent davantage à la réalité, à ce qui se produit réellement. L'acquisition des connaissances permet ainsi de mieux savoir où regarder et pourquoi, et surtout elles permettent de mieux interpréter et plus vite les éléments perçus. Le temps de détection des risques routiers, considéré en termes de latence de perception du risque, est un aspect des compétences de conduite (Deery & Love, 1996). La perception du risque implique des éléments à la fois des compétences de conduite (latence de perception) et d'expérience subjective (savoir quantifier le danger potentiel).

3-3/Compétences attentionnelles

Une des premières compétences à acquérir en matière de conduite automobile est la maîtrise du véhicule. Cela suppose que le conducteur ait développé des stratégies pour répartir ses ressources attentionnelles entre les sources d'informations de l'environnement routier et la gestion des sous-tâches sensori-motrices. Durant les premiers mois de pratique, les conducteurs novices manquent de compétences et le contrôle du véhicule est encore approximatif. Aucune action (actions sur les pédales, changement de vitesse, maintien de la trajectoire, etc.) ne peut être effectuée sans un contrôle conscient. L'exécution des sous-tâches sensori-motrices n'est pas automatisée et une importante quantité de ressources attentionnelles lui est accordée. A ce titre, nous reviendrons sur l'exemple précédemment cité : si un changement de vitesse est effectué de manière automatique par un conducteur expérimenté, un conducteur novice, en revanche accompagnera ce geste d'un mouvement de regard en direction du levier de vitesse. Ceci traduit ainsi l'attention nécessaire qu'il doit accordée à la réalisation de cette action. Par ailleurs, les conducteurs novices ont des difficultés à juger et à apprécier automatiquement la vitesse à laquelle ils roulent. A cet égard, Lansdown (2002) a étudié sur simulateur de conduite le comportement visuel de 2 groupes de conducteurs (des novices et des expérimentés) et a montré que les conducteurs novices passaient plus de temps à surveiller le compteur de vitesse que les conducteurs expérimentés.

Ce manque de compétences se traduit en termes de non développement d'automatismes, les conducteurs novices n'ont pas encore appris à optimiser la répartition de leurs ressources attentionnelles. Chez un conducteur novice, les ressources attentionnelles sont fortement monopolisées par les sous-tâches sensori-motrices au détriment des sous-tâches cognitives. Les traitements cognitifs qui découlent de ces dernières tels que traiter des informations ou prendre une décision sont amoindris et par conséquent de moindres performances de conduite sont relevées. L'acquisition des automatismes est essentielle puisque c'est par son intermédiaire que les ressources pour les sous-tâches cognitives sont libérées.

Par ailleurs, les conducteurs doivent apprendre à diriger leur attention vers les informations pertinentes. Cela s'acquiert également avec la pratique dans la mesure où l'expérience du conducteur permet une meilleure répartition de l'attention entre les sources d'informations (Drummond, 1989). La distribution de l'attention sera effectuée selon les priorités établies par les modèles mentaux du conducteur. L'avantage de ces modèles mentaux est particulièrement visible en situations complexes de conduite. Lorsque le conducteur doit gérer une quantité trop importante d'informations et qu'il lui est impossible de les intégrer entièrement. Dans ce cas, il tentera de compenser les informations non traitées en se basant sur son modèle mental afin de procéder à des anticipations. Ce n'est qu'après une expérience estimée entre 5000 et 10000 kilomètres (Summala, 2000) que s'opère un changement significatif dans les compétences et que l'on peut considérer un conducteur comme expérimenté. Dès cet instant, la conduite requiert moins de ressources, moins d'effort, est davantage sécuritaire et est ressentie comme une activité facile à réaliser. Cela correspond à la définition de l'automatisation du comportement humain (Schneider & Schiffrin, 1977).

3-4/ Compétences perceptives

Le développement des compétences perceptives est une condition sine qua non à l'exercice de l'activité de conduite. En effet, étant donné, d'une part, qu'une exploration visuelle efficace induit des performances de conduite optimale. D'autre part, pour rouler en sécurité, un conducteur doit être capable de surveiller toutes les zones pertinentes de la scène routière afin de recueillir des informations sur les risques potentiellement présents. Un conducteur qui ne perçoit pas ou qui perçoit tardivement un danger ne réagira pas correctement à la situation.

3-4-1/ Spécificités de la recherche d'informations des conducteurs novices

Pour comprendre le comportement visuel des conducteurs, les analyses sont traditionnellement effectuées au travers de deux axes d'exploration : un axe vertical et un axe horizontal. Ces méthodes d'investigation permettent de couvrir toutes les zones de regards susceptibles d'être surveillées par les conducteurs et d'apporter des éléments précis sur les stratégies visuelles propres à chacun. Ainsi, sur l'axe vertical l'exploration perceptive des conducteurs novices ne diffère pas significativement de celle des conducteurs expérimentés aussi bien en termes de durée que de variations de regards. En revanche sur l'axe horizontal, un effet d'expérience sur la recherche d'information est

observé avec, entre autre, une exploration perceptive hésitante lors des premiers mois de pratique. A ce stade, les conducteurs novices présentent des difficultés pour diriger leur recherche d'informations (grands mouvements de tête et des saccades oculaires de grande amplitude) et pour différencier les éléments perçus. Pour ces conducteurs, les informations ne sont pas hiérarchisées selon leur pertinence dans une situation donnée.

Concrètement, les premiers parcours effectués sont caractérisés par une absence de stratégie de recueil d'informations (Deery, 1999). L'exploration visuelle est non organisée, les conducteurs novices ne savent pas étendre leur recherche d'informations et se concentrent essentiellement sur les zones proches du véhicule (Deery, 1999). Le balayage de la scène routière des conducteurs novices est inefficace (Deery, 1999; Falkmer & Gregersen, 2001). Underwood et al. (2003) ont identifié des regards « fixes » principalement vers l'avant du véhicule, maintenus par l'étroitesse de la zone de balayage visuel. L'absence de stratégies de prélèvement d'informations peut être liée au fait que les conducteurs novices utilisent mal leur vision périphérique pour optimiser leur recherche d'information (Deery, 1999; Mourant & Rockwell, 1972). Pour Chapman et Underwood (1998), lorsque le trafic est dense, seuls les conducteurs expérimentés procèdent à un balayage actif de la scène routière, qui leur permet de surveiller l'ensemble des zones environnantes. Ainsi, les nombreuses fixations en direction des bordures de la chaussée chez les conducteurs novices sont souvent interprétées comme une impossibilité d'utiliser la vision périphérique pour gérer le positionnement du véhicule ou encore pour le contrôle de la trajectoire (Mourant & Rockwell, 1972 ; Summala et al. 1996).

Lorsqu'une situation de conduite se complexifie, la recherche d'information des conducteurs novices est inappropriée. Les fixations sont plus longues que celles des conducteurs expérimentés. Plus les fixations sont longues et plus le temps consacré au traitement des informations sera long (Chapman & Underwood, 1998). Pour Chapman et al. (2002) les caractéristiques des stratégies visuelles de ces conducteurs entraînent des difficultés à s'adapter aux fluctuations des situations notamment si l'environnement n'est pas familier ou est complexe. Seule la familiarité avec l'environnement permet une adéquation de la stratégie d'exploration aux exigences de la tâche. Une bonne connaissance antérieure de l'environnement de conduite et des sources potentielles de danger permettront un traitement plus rapide des informations afin d'évaluer si elles sont pertinentes ou non (Chapman et al. 2002).

De plus, les conducteurs novices perçoivent les éléments petit à petit et indépendamment du contexte alors que les conducteurs expérimentés ont une perception holistique des informations présentes dans l'environnement routier (Milech, Gleencross, & Hartley, 1989). Un conducteur novice identifie une situation comme dangereuse sur la base d'une seule caractéristique. Toutes les situations présentant cette caractéristique, préalablement identifiée comme potentiellement dangereuse, sont considérées comme dangereuses. En revanche, un conducteur expérimenté perçoit les situations sur la base de multiples caractéristiques, ce qui lui permet de définir des degrés de dangerosité des situations. On considère que les conducteurs expérimentés intègrent plus rapidement l'information et le risque est considéré comme un attribut global de l'environnement routier (Benda & Hoyos, 1983).

Pour vérifier et mettre en évidence la relation entre l'acquisition des connaissances et le mode de recherche visuelle, Underwood et al. (2002b) ont fait l'hypothèse selon laquelle les novices tendent à regarder droit devant car ils ne sont pas conscients de la nécessité de construire un modèle mental des intentions des autres usagers. Pour cela, deux groupes de conducteurs, des expérimentés et des novices, ont effectué une expérimentation en

laboratoire avec pour support des séquences vidéos. La tâche de contrôle du véhicule a été supprimée et les séquences étaient dynamiques afin de permettre un enregistrement des mouvements oculaires. Les participants devaient appuyer sur un bouton dès qu'ils jugeaient qu'une situation potentiellement dangereuse était susceptible d'arriver. Les expérimentateurs sont partis du principe que les conducteurs novices restreignaient leur recherche visuelle car ils allouaient leurs ressources attentionnelles au contrôle du véhicule. Dans cette expérimentation, l'élimination de la composante « contrôle du véhicule » a permis de montrer si la recherche d'information était similaire que le conducteur soit novice ou expérimenté. Les résultats révèlent des inspections différentes en fonction de l'expérience de conduite. Les novices semblent manifester certaines difficultés à balayer la scène routière. Underwood et al. (2002b) concluent à une inspection différente selon le type de conducteurs. Pour ces auteurs ces résultats sont davantage liés à un faible développement des modèles mentaux qu'à une capacité mentale limitée. Les deux groupes de conducteurs ont une compréhension différente de la scène routière. En conclusion, ce n'est pas le besoin de contrôle du véhicule qui réduit l'exploration visuelle des novices : plus un conducteur est compétent et plus il balaye largement la scène routière.

Si l'on se réfère aux théories de l'attention, la différence de recherche d'information entre conducteurs novices et conducteurs experts peut s'expliquer par l'action d'un filtre cognitif qui sélectionne ou non l'information pertinente (Rumar, 1985). Chez les conducteurs expérimentés, ce filtre rejette les informations non pertinentes alors que chez les conducteurs novices le filtre n'est pas aussi efficace. La sélection est moindre et moins d'informations sont rejetées (McDonald & Hoffmann, 1991). Cette non-sélection est surtout le résultat du fait qu'ils ne savent pas ce qu'il est important de regarder. Les sujets expérimentés font moins de fixations que les sujets débutants. Le nombre d'objets ou de zones fixées diminuent avec l'apprentissage. La concentration des fixations sur les zones pertinentes du champ traduit une recherche sélective des indices perceptifs.

3-4-2/ Commandes du véhicule et organes de contrôles (rétroviseurs)

Avant d'être en mesure de recueillir les informations pertinentes dans la scène routière, les conducteurs doivent acquérir la disposition spatiale des commandes du véhicule par rapport à la position de leur corps et par rapport à l'habitacle. La manipulation des commandes pour contrôler le véhicule représente une source d'informations importante pour les conducteurs novices. Ils lui accordent une quantité non négligeable d'attention (Underwood et al. 2002). En effet, selon Underwood et al. (2002), les conducteurs novices consacrent davantage d'attention et de contrôle visuel sur les commandes du véhicule que les conducteurs expérimentés. Par exemple, avant d'actionner son clignotant, le conducteur novice va effectuer un contrôle visuel en direction de celui-ci. Les nombreux regards en direction du levier de vitesse et autres instruments de commandes du véhicule témoignent du non achèvement et / ou de l'acquisition en cours de la disposition spatiale des organes de commandes (Neboit, 1980). Par la suite, la disparition de ses regards signifie la fin de l'élaboration de ces connaissances. Le besoin des conducteurs novices de constamment surveiller leurs actions sur les commandes ne leur laisse pas suffisamment de temps pour surveiller les zones plus lointaines.

L'insuffisance des modes de recherche d'information des conducteurs novices est particulièrement observée dans la consultation des rétroviseurs. Les conducteurs novices consultent moins fréquemment ces organes de contrôle que les conducteurs expérimentés (Deery, 1999). Underwood et al. (2002a) mettent en avant le rôle de l'expérience de conduite

dans les caractéristiques de consultation des rétroviseurs, que ce soit en termes de durée et de fréquence de consultation. Par exemple, lorsque la demande de l'activité de conduite augmente, les conducteurs expérimentés peuvent réallouer leurs ressources cognitives et modifier l'inspection de la scène (Chapman & Underwood, 1999).

3-4-3/ Exploration anticipatrice

La conduite automobile nécessite une recherche anticipée d'informations. Seuls les conducteurs expérimentés présentent une « anticipation visuelle » c'est-à-dire une activité exploratoire dynamique qui leur permet des anticipations à plus long terme. Cette expansion du champ global d'exploration correspond à une appropriation progressive de l'espace de déplacement. Il s'agit d'une appropriation de l'espace immédiat au travers de l'apprentissage de la position spatiale des commandes de l'habitacle, de l'anticipation de la trajectoire et de la prise en compte des éléments de l'environnement permettant de projeter les situations à venir à plus long terme.

Contrairement aux conducteurs expérimentés qui prélèvent l'information en un seul coup d'œil, le temps nécessaire au recueil d'une information est relativement long pour un conducteur novice. De plus, les expérimentés recherchent l'information sur une distance d'autant plus grande que leur vitesse est élevée, ce qui leur donne une marge de sécurité estimée à trois secondes. En revanche, le débutant fixe la route sur une distance donnée, quelle que soit la vitesse. Ce n'est que progressivement, avec l'acquisition de l'expérience, qu'il intègre la variable temporelle dans sa gestion du déplacement et que son exploration perceptive devient anticipatrice. Les zones de recherche d'informations s'élargissent (Mourant & Rockwell, 1972; Summala et al. 1996) et les éléments lointains sont pris en compte. Par exemple, les conducteurs apprennent à surveiller le véhicule précédent et sont en mesure d'anticiper un éventuel freinage intempestif.

Toutefois, les patterns de mouvements oculaires des débutants changent de façon substantielle durant les premiers mois de pratique. Ils concentrent tout d'abord leur recherche d'information dans des petites aires, proches de l'avant du véhicule. Les fixations deviennent moins dispersées et tendent à se concentrer sur des zones pertinentes. De plus, concernant le type d'indices observés par les conducteurs novices, Deery (1999) a mis en avant le fait que les conducteurs novices fixent davantage les éléments statiques que les éléments non statiques. Les conducteurs expérimentés, quant à eux, portent davantage leur attention sur les éléments en mouvements (Deery, 1999).

Pour conclure ce paragraphe, nous résumerons le rôle de l'acquisition de l'expérience sur les modes de recherche d'information en quelques points. Avec l'apprentissage, l'exploration visuelle se transforme et devient plus efficace, permet une plus grande sélectivité et une orientation de l'attention sur les éléments pertinents. L'adaptation aux situations en devient meilleure, ce qui traduit une automatisation du processus. Le conducteur sait inconsciemment comment diriger sa recherche d'information (Neboit, 1980).

Ainsi, l'évolution des stratégies d'exploration visuelle témoigne 1) de l'aptitude à discriminer les indices pertinents, 2) d'une évolution de l'aptitude à organiser un schéma prévisionnel des événements, 3) d'une meilleure utilisation de l'information recueillie en vision périphérique, 4) d'une meilleure connaissance des modes d'exploration spécifique.

IV/ Problématique et hypothèses

4-1/ Problématique et hypothèse générale de la thèse

Lors d'un trajet, qu'il soit de courte ou de longue durée, derrière l'objectif principal de se rendre d'un point à un autre, un conducteur doit continuellement s'adapter afin de faire face aux différentes situations de conduite qui se présentent à lui. Un franchissement d'intersection, par exemple, ne demandera pas les mêmes compétences de conduite et contraindra le conducteur à porter une attention particulière et soutenue vers ce qui peut se produire autour de lui. Contrairement à un simple déplacement en ligne droite, la manœuvre de tourne à gauche est particulièrement complexe pour un conducteur en raison de la gestion du flux à double sens qu'elle nécessite. Selon Elvik et al. (1989), ce type de configuration routière est propice aux accidents. Ces situations supposent une adaptation continue de la part du conducteur et nécessitent la mise en place de processus cognitifs permettant la coordination des informations perçues avec les actions à entreprendre. Le rôle de ces processus est essentiel car l'efficacité de la chaîne de traitement de l'information dépend directement de la quantité de ressources attentionnelles disponibles. Schématiquement, l'attention du conducteur est mobilisée selon deux types de processus coexistant. D'un côté, des stimulations non attendues dans l'environnement s'imposent au conducteur par leur prégnance. De l'autre côté, la recherche d'informations est délibérée et est fonction des connaissances dont il dispose. Dans ce cas, le traitement des informations pertinentes est privilégié et un traitement sélectif est assuré afin d'inhiber les informations distractrices.

Comme nous l'avons évoqué au paragraphe 1-1-1, ces deux processus sont liés. A chaque instant le conducteur émet des hypothèses sur les évolutions de la situation afin de se préparer à d'éventuels changements, mais il peut à tout moment être confronté à des événements inattendus dont le traitement sera automatique. Pour Neboit (1980), une information subit un traitement en quatre étapes. Dans un premier temps, l'exploration perceptive permet au conducteur d'intégrer l'ensemble des indices nécessaires à la tâche de conduite. Ces informations sont ensuite classées en vue de leur identification. Puis, les informations perçues sont évaluées en vue de leur compréhension. Le conducteur peut ainsi anticiper les événements futurs et par conséquent l'évolution d'une situation identifiée. L'ensemble de ces trois étapes conduit à l'étape décisionnelle qui permet la planification des actions. Selon Endsley (1995) et Rasmussen (1986), la qualité de ce traitement dépend des connaissances que le conducteur a acquises au cours de sa pratique et qui lui permettent d'orienter son attention sur les éléments pertinents de l'environnement. La confrontation entre les représentations du conducteur et les éléments de la scène routière permet un traitement automatique de l'information (Rasmussen, 1986). Ainsi, le conducteur pourra réagir plus rapidement, procéder à des anticipations et surtout avoir un comportement adapté aux différentes situations rencontrées.

La société actuelle, avec les progrès technologiques qui la caractérisent, génère des « mutations » dans de nombreux domaines. Dans le domaine des transports, les avancées technologiques peuvent à la fois être bénéfiques mais également « néfastes » pour le conducteur. L'introduction massive des nouvelles technologies dans les véhicules multiplie

les situations d'attention partagée. Il faut alors s'assurer que leur usage ne dépasse pas les capacités de traitement des informations des conducteurs.

Dans ce contexte, les systèmes embarqués sont de plus en plus accessibles pour tout type de véhicule et offrent une multitude d'options pour le conducteur. Ces systèmes visent, entre autres, à la prévention d'accidents via une assistance au conducteur. L'objectif est de faciliter la tâche de conduite par la prise en charge de certaines sous-tâches de l'activité, telles que le maintien de la trajectoire, le respect des distances de sécurité, etc... L'utilisation de ces systèmes peut aider les conducteurs à rouler à une allure modérée, à maintenir des distances inter-véhiculaires respectables (Shinar & Schechtman, 2002) et ainsi les aider à adopter un comportement sécuritaire. Comme nous l'avons vu au paragraphe 1-3-3, les systèmes d'information tels que les systèmes de navigation apportent également une aide au conducteur dans la planification et le suivi d'un itinéraire spécifique. Des bénéfices sur l'activité de conduite ont été démontrés avec l'usage de tels systèmes. En comparant l'utilisation d'un système de navigation et l'utilisation d'une carte papier sur les performances de conduite, Wochinger et al. (1997) ont notamment montré que le traitement des informations était facilité avec un guidage de type étape par étape (« turn by turn¹⁰ indications »). Ce type d'indications réduit la charge mentale et le nombre d'erreurs de navigation. Notons toutefois que l'introduction d'un système de navigation peut aussi perturber l'activité de conduite. Selon le type d'interaction avec le conducteur et selon les différentes caractéristiques de présentation des informations, leur utilisation peut induire un coût supplémentaire. Ce surcoût est notamment visible lorsque le conducteur doit lire un message complexe sur l'écran ou lorsqu'il doit traiter des informations complexes. La rapidité des processus de traitement ainsi que le niveau de distraction dépendent ainsi du mode de présentation des informations données au conducteur.

Les avancées technologiques se traduisent également par une omniprésence des moyens de communications. Cela concerne tout particulièrement les téléphones portables, qui sont devenus un accessoire incontournable de la vie quotidienne et occupent une place privilégiée dans les véhicules. Avec la multitude d'options (SMS, accès internet, courriel, jeux...) qu'ils proposent, ils sont utilisés quelle que soit l'activité en cours. Lorsque nous téléphonons au volant, l'impact de la conversation peut s'avérer néfaste. Il peut devenir difficile de maintenir un niveau de performance acceptable pour les deux activités et en particulier pour la tâche principale de conduite, en raison des limites de nos ressources attentionnelles (cf. 1-3). En termes de sécurité routière, ce phénomène nécessite d'être pris en compte. En effet, l'activité de conduite est souvent considérée comme banale et peu « productive » poussant certains conducteurs à mettre leur temps de parcours à profit en effectuant d'autres tâches en parallèle. Lorsqu'un conducteur maintient une conversation téléphonique, son attention est détournée de la tâche de conduite et le risque d'accident est multiplié par quatre (Redelmeier & Tibshirani, 1997) en raison de la surcharge mentale qui empêche la chaîne de traitement de l'information de s'effectuer correctement et de maintenir des performances de conduite acceptables.

Si de nombreux travaux ont montré comment une tâche ajoutée dégrade l'activité de conduite, peu de recherches ont identifié l'impact du partage attentionnel chez les conducteurs novices. Aussi, il est intéressant de déterminer comment cette population, caractérisée par un fort taux d'accidents (D. D. Clarke, Ward, P., Truman, W, 2005) et par des compétences de conduite faiblement développées, se comporte en situation de double tâche. Whelan et al. (Whelan, 2004) ont identifié un manque d'expérience au niveau de la

¹⁰ Guidage présenté sous forme de pictogramme, c'est-à-dire sous forme de flèches simplifiées qui indiquent les intersections les unes après les autres

qualité de la perception du risque, du traitement de l'information ou encore de la conscience de la situation. Ce manque d'expérience n'a pas permis aux conducteurs novices de développer les automatismes essentiels à l'activité de conduite. Ils ont des difficultés à anticiper les évolutions de l'environnement et à contrôler efficacement leur véhicule en cas de situations d'urgence (Lerner, 2001). En analysant les différences individuelles lors de la réalisation de tâches secondaires, Lansdown (2002) a notamment montré des temps de réaction plus longs chez les novices liés à leur incapacité à automatiser certains processus cognitifs (Lansdown, 2002; Summala et al. 1998).

Avec un intérêt particulier pour les jeunes conducteurs novices, ce travail vise à déterminer la nature de la dégradation des performances et à identifier les mécanismes altérés par la réalisation d'une tâche ajoutée. Il s'agit de s'intéresser à une population dont les compétences de conduite sont, ont l'a vu, faiblement développées mais dont l'utilisation du téléphone portable fait partie du mode de vie. En effet, ces conducteurs n'excluent pas, voire considère comme « normale », son utilisation au volant. On caractérise souvent les jeunes conducteurs comme des utilisateurs « intensifs » du téléphone portable. Ils sont ainsi habitués à suivre une conversation téléphonique en effectuant simultanément d'autres activités. Inconsciemment ou non, il est probable qu'ils aient développé des stratégies afin de libérer des ressources attentionnelles pour effectuer une autre tâche simultanément. Aussi, considérant que l'exercice répété favorise le développement de compétences spécifiques et d'automatismes, il sera intéressant de déterminer comment un jeune conducteur novice évolue lorsqu'il doit non seulement gérer une activité complexe et pas tout à fait maîtrisée, telle que la conduite automobile, tout en maintenant une conversation téléphonique. Il s'agit de vérifier comment les dégradations de performances de conduite, généralement observées lors d'une conversation téléphonique, sont accentuées ou non en raison de cette familiarité avec la gestion de ce type de situations de double tâche.

De nombreuses études ont montré une dégradation de l'activité de conduite lorsque le conducteur a une conversation téléphonique au volant. Cette altération des performances témoigne des difficultés à traiter les informations. Nous nous interrogerons sur comment ces difficultés de traitement engendrent une moindre capacité à projeter les situations à venir. Comment un conducteur pris dans une conversation téléphonique dont le champ visuel est réduit (Recartes & Nunes, 2000), qui ne traite pas tous les éléments de la signalisation (Strayer & Johnston, 2001) et dont les temps de réaction sont allongés (Strayer & Johnston 2001), peut maintenir une capacité d'anticipation face aux évolutions de l'environnement routier et mener à bien les différentes manœuvres (dépassements, franchissements d'intersections) qu'il doit effectuer. Nous considérerons cette capacité au travers des données comportementales et des modalités de prise d'informations. Celles-ci nous serviront à comprendre comment les difficultés de traitement de l'information se répercutent sur l'activité de conduite.

En nous appuyant essentiellement sur les manœuvres de franchissement d'intersections, nous avons émis l'hypothèse générale selon laquelle **la réalisation d'une tâche ajoutée diminuera les capacités des conducteurs à prévoir / projeter les éventuelles évolutions de l'environnement routier et à prendre en compte les éléments importants de la scène routière**. En effet, lorsqu'il téléphone, l'attention du conducteur est détournée du contexte routier et le traitement des informations n'est pas effectué correctement, cela induit des comportements inappropriés si un événement imprévu survient (Strayer & Drews, 2004).

Cette hypothèse générale peut se décomposer de la manière suivante :

- En raison de leur inexpérience de la conduite, les jeunes conducteurs novices auront davantage de difficultés à prévoir les événements à venir que les conducteurs expérimentés. Ainsi, la confrontation entre les performances des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés devraient mettre en évidence des différences selon les caractéristiques des conducteurs.
- En raison de l'habitude des conducteurs novices à utiliser des nouvelles technologies (tel que le téléphone portable), nous supposons que l'impact des situations d'attention partagée sera moindre chez les conducteurs novices que chez les conducteurs expérimentés.

Pour répondre à ces interrogations, nous avons procédé en deux étapes, grâce à la mise en place de deux expérimentations successives.

4-2/ Hypothèses expérimentation 1

Dans un premier temps, une expérimentation en environnement de réel de conduite nous a permis d'obtenir des résultats issus de situations de conduite, sans adjonction d'éléments artificiels. Cette première expérimentation visait à analyser la prise d'informations des conducteurs lors de l'utilisation conjointe d'un système de navigation et d'un téléphone portable. Ceux-ci ont été confrontés à des situations complexes de conduite (tournez à gauche et tournez à droite). Précisions que dans notre recherche, la tâche principale de conduite était une manœuvre de franchissement d'intersection, tout en étant guidé par le système de navigation.

Il s'agit de vérifier l'hypothèse selon laquelle la conversation téléphonique dégraderait les performances générales de conduite. Pour cela, nous avons émis les hypothèses opérationnelles suivantes :

- L'interférence liée à la situation de double tâche se traduira au niveau de la perception quelles que soient les caractéristiques des conducteurs : la prise d'information des conducteurs sera altérée, ce qui se traduira par une recherche d'information moins dynamique (regards davantage dirigés vers l'avant) et une fréquence de surveillance des zones stratégiques réduite.
- Les zones de regards essentielles aux franchissements d'intersections seront moins inspectées par les conducteurs novices que par les conducteurs expérimentés, aussi bien en situation de simple tâche qu'en situation de double tâche en raison de leur incapacité à hiérarchisées les informations selon leur niveau de pertinence.

Cette première expérimentation visait également à mesurer l'interférence causée par la conversation téléphonique sur la qualité du traitement de l'information, que nous envisageons d'observer en termes de difficultés de projection et de gestion des situations à venir (manœuvre à venir de franchissement d'intersection). Nous mesurerons ces difficultés au travers des performances de conduite relatives au niveau tactique et au niveau opérationnel. Pour cela, nous avons identifié différentes dimensions de performances : la dynamique du véhicule, la gestion des autres usagers, le respect ou non de la signalisation et la qualité de la communication avec les autres usagers. A cet égard, les hypothèses opérationnelles sont les suivantes :

- Les performances des conducteurs devraient être meilleures en situations de simple tâche qu'en situations de double tâche. Par ailleurs, en raison de leur maîtrise des nouvelles technologies et du fait qu'ils ont une grande habitude à « effectuer plusieurs tâches simultanément », les performances des conducteurs novices ne devraient pas présenter de différences significatives qu'ils soient en situation de simple ou de double tâche. En revanche, les performances des conducteurs expérimentés seront meilleures en situation de simple tâche qu'en double tâche.
- En référence au modèle hiérarchique de l'activité de conduite défini par Michon (1985), l'impact de la situation d'attention partagée devrait induire des perturbations aussi bien au niveau tactique qu'au niveau opérationnel. Ces perturbations seront plus visibles chez les conducteurs novices.

4-3/ Hypothèses expérimentation 2

La seconde expérimentation a été effectuée en laboratoire avec pour objectif de compléter les données recueillies lors de la première expérimentation. Celle-ci se concentre sur la recherche d'information et les modalités de prise d'informations lors d'une manœuvre de tourne à gauche, selon que le conducteur soit novice ou expérimenté.

Les hypothèses opérationnelles relatives à cette seconde expérimentation sont les suivantes :

- En raison d'un balayage de la scène routière inefficace, les conducteurs novices traiteront moins d'éléments que les conducteurs expérimentés. Ils auront tendance à regarder droit devant eux et à ne pas prendre en compte les zones périphériques.
- Les conducteurs novices se focaliseront davantage sur les éléments secondaires et les conducteurs expérimentés sur les éléments pertinents de la signalisation.
- La recherche d'information des conducteurs novices ne sera pas altérée en situation de double tâche, en raison de leur maîtrise des nouvelles technologies. A l'inverse, la recherche d'information des conducteurs expérimentés sera moins pertinente en situation de double tâche.

V/ Expérimentation 1

Notre première expérimentation, rappelons-le, avait pour objectif d'analyser la prise et le traitement de l'information des conducteurs lors de l'utilisation conjointe d'un système de navigation et d'un téléphone portable en situation réelle de conduite. Notre analyse a porté sur les situations complexes de conduite que sont les tournez à gauche et les tournez à droite.

5-1/ Participants

Trente deux sujets ont participé à l'expérimentation, seize conducteurs novices et seize conducteurs expérimentés. Afin de s'assurer que les conducteurs n'avaient pas de problème de vue susceptibles de perturber leur activité de conduite ou la lecture des informations du système de navigation, nous avons mesuré l'acuité visuelle des conducteurs à l'aide d'un appareil Ergovision. Pour être acceptable, une acuité visuelle égale ou supérieure à 8 était requise quelle que soit le type de vision évaluée.

Les jeunes conducteurs novices avaient une faible expérience de conduite (moins de 6 mois de permis). Ces conducteurs étaient âgés de 18 à 21 ans (moyenne d'âge 19.5, écart type 1). Au volant ou non, leur utilisation du téléphone était régulière, en moyenne 45 appels par semaine, avec des appels de durée variable. Concernant leur acuité visuelle, ces conducteurs avaient une moyenne de 11.07 pour la vision de près, de 11.47 pour la vision intermédiaire et de 11.87 pour la vision de loin.

Le second groupe, composé de conducteurs expérimentés âgés de 35 à 47 ans (moyenne d'âge 39.6, écart type 3.9), était caractérisée par une expérience de conduite supérieur à 10000 kilomètres annuel. Concernant leur habitude téléphonique au volant, l'utilisation était assez soutenue avec une moyenne de 34 appels par semaine. Concernant leur acuité visuelle, ces conducteurs avaient en moyenne 9.875 pour la vision de près, 11 pour la vision intermédiaire et 11.25 pour la vision de loin.

Deux groupes d'utilisateurs du téléphone ont été constitués : ceux qui ont une utilisation « modérée » avec un maximum de vingt appels par semaine quelle que soit la situation (au volant ou non) et ceux qui ont une utilisation « excessive et soutenue » du téléphone portable avec un minimum de vingt appels par semaine. Si l'on regroupe les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés, nous avons une répartition équitable avec 16 sujets ayant une utilisation « modérée » (dont 9 novices) et 16 sujets ayant une utilisation « excessive » (dont 7 novices).

A l'exception de quatre sujets, les conducteurs novices ont au minimum le baccalauréat. Le niveau d'étude des conducteurs expérimentés est plus homogène. La moitié d'entre eux a au minimum le baccalauréat et l'autre moitié a fait des études courtes (BEP, CAP).

5-2/ Matériel

5-2-1/ Véhicule instrumenté

Un véhicule de type Renault Scénic a été équipé pour les besoins de l'expérimentation. Plusieurs capteurs ont permis le recueil des données :

- Des micros ont été installés pour enregistrer les réponses des sujets à la tâche téléphonique et vérifier que l'exercice demandé pour cette double tâche ait bien été réalisé. Nous avons ainsi pu nous assurer, par exemple, qu'il n'y avait pas de mauvaise compréhension des phrases proposées.
- 5 caméras paluches installées à l'intérieur du véhicule ont permis un retour vidéo sur 5 prises de vues différentes :
 - Le visage du conducteur
 - Les scènes routières avant et arrière
 - Les indications du système de navigation
 - L'écran de contrôle (avec les données véhicules telles que la vitesse, la mise ou non des clignotants).

Un système quadravision nous a permis d'avoir une vision simultanée des différentes prises de vue (photo 1).



Photo 1: Représentation des quatre vues possibles via le système quadravision

Source : Production propre

5-2-2/ Matériel embarqué

Téléphone portable

Un téléphone doté de la technologie bluetooth a été installé dans le véhicule. Il était relié à un kit mains libres, dont les touches « raccrocher » et « décrocher » étaient situées en dessous de l'écran du système de navigation. Afin d'éviter une tenue manuelle du téléphone, des micros et haut-parleurs étaient situés au niveau du pare soleil du conducteur. L'avantage de ce dispositif était de réduire le détournement du regard du conducteur de la route vers l'intérieur du véhicule lors de la prise de ligne et de la fin de l'appel.

Système de navigation

Le système de navigation était un GPS de série au véhicule : le système CARMINAT. Il disposait d'un mode visuel et d'un mode vocal, combinable ou non. Le mode visuel propose deux types d'affichage ; soit un pictogramme seul, soit l'écran est divisé en deux parties pour afficher à la fois un pictogramme et une représentation cartographique. Le mode vocal peut être supprimé ou conservé.

Pour l'expérimentation, nous avons combiné les modalités visuelle et auditive. Concernant la modalité visuelle, nous avons privilégié une présentation sous forme de pictogramme (photo 2 et photo 3).



Photo 2: Pictogramme indiquant la prochaine intersection à gauche

Source : Production propre



Photo 3: Pictogramme indiquant la prochaine intersection à droite

Source : Production propre

5-2-3/ Circuit

L'expérimentation a été réalisée en situation réelle de conduite sur un trajet alternant entre des environnements urbains et des environnements ruraux. Le parcours a été réalisé en région lyonnaise (Bron, Décines et Vaulx en Velin) sur une distance d'environ 20 kilomètres. L'expérimentation a été réalisée en période creuse (entre 9h30 et 11h et/ou entre 13h30 et 15h30) afin que le niveau de trafic reste modéré (ni trop chargé ni trop faible).

Pour assurer la sécurité des conducteurs pendant le trajet, un moniteur d'auto-école a été recruté pour toute la durée de l'expérimentation. Le véhicule était équipé de doubles commandes afin de permettre au moniteur d'intervenir en cas de besoin.

Le trajet était prédéterminé à l'avance pour être identique pour tous les sujets afin d'analyser les mêmes intersections soit douze « tournez à gauche » et huit « tournez à droite ». Les douze « tourne à gauche » (TAG) étaient composés de dix intersections en « T » et de deux en « X ». Toutes les intersections étaient régies par la règle de priorité à droite sauf une dont la circulation était régie par un cédez le passage. Les huit « tourne à droite » (TAD) étaient composés de sept intersections en « T » et une en « X ». Dans tous les cas, excepté un « stop » le marquage au sol était un « cédez le passage ». Aucune de ces intersections n'étaient protégée, c'est-à-dire que le conducteur n'était jamais prioritaire et la décision de franchir l'intersection au bon moment lui incombaît. Notons que l'itinéraire prévu a parfois été modifié en raison d'erreurs de navigation et de fait, certaines intersections n'ont pas pu être analysées pour les conducteurs qui ne les ont pas franchies.

5-3/ Tâche

5-3-1/ Tâche principale

La tâche principale proposée aux participants était de conduire le véhicule tout en suivant les indications du système de navigation.

5-3-2/ Tâche ajoutée

Pour placer le conducteur en situation de double tâche, nous avons recréé une conversation téléphonique. A cet effet, nous avons demandé à un expérimentateur, basé dans les locaux du laboratoire, d'émettre des appels vers la voiture expérimentale dès qu'il recevait un signal envoyé par l'expérimentateur présent dans la voiture. Le sujet avait pour consigne de répondre à chacun des appels dans la mesure du possible. Si la condition était critique, il lui a été demandé de ne pas répondre et de privilégier la gestion de la situation de conduite.

Lors de la réception de l'appel, des phrases congrues ou non étaient proposées au conducteur. Celui-ci devait les répéter intégralement et préciser si elles étaient plausibles ou non. Il était demandé aux conducteurs de répondre « vrai » lorsque les phrases étaient plausibles et de répondre « faux » lorsque cela n'était pas le cas.

Soixante dix phrases ont été prévues, la moitié d'entre elle étaient plausibles et l'autre non. Une macro sur Excel a été réalisée afin de générer un ordre aléatoire et ainsi de proposer à chaque sujet un ordre de phrase différent. La taille des phrases variait de 10 à 12 syllabes.

Les phrases proposées aux sujets étaient par exemple :

- phrase plausible : « Pour payer ses courses on peut faire un chèque »
- phrase incongrue : « Pour faire du fromage il faut une banane »

Pour gérer le nombre de franchissements d'intersection en simple et en double tâche, les moments d'appels étaient définis à l'avance. Deux ordres d'émission d'appels ont été prévus. Dans le premier, la moitié des intersections étaient franchies lors de la conversation téléphonique et dans le second, ces mêmes intersections étaient franchies sans conversation téléphonique. Les intersections franchies sans téléphone dans le premier ordre étaient franchies avec téléphone dans le second ordre.

5-3-3/ Déroulement

L'expérimentation démarrait par des tests de vision afin de s'assurer qu'aucune déficience majeure ne viendrait perturber la réalisation des tâches demandées (telle que la lecture des informations du système de navigation).

En ce qui concerne la partie conduite, il était tout d'abord procédé à l'ajustement du siège et des rétroviseurs. Puis le sujet commençait la phase de familiarisation en situation réelle de conduite. Cette phase, d'une quinzaine de minutes lui était proposée pour prendre en main le véhicule, s'habituer à la situation de double tâche ainsi qu'au système de navigation. Pour cela, chaque conducteur devait suivre l'itinéraire indiqué par le système de navigation. Plusieurs appels téléphoniques lui ont permis de repérer les

touches « décrocher » et « raccrocher » et, de comprendre la consigne demandée lors de la conversation téléphonique.

A la suite de cette phase de familiarisation, il a été demandé à chaque conducteur de se garer sur un emplacement de parking choisi préalablement pour procéder aux différents réglages (déclenchement des enregistrements vidéos, préparation du téléphone portable, entrée des destinations du système de navigation).

Une fois les réglages terminés, la phase de conduite démarrait pour une durée de trente à quarante minutes selon les sujets.

En fin d'expérimentation, un questionnaire était proposé pour recueillir l'impression des conducteurs et leur ressenti quant à la difficulté de la tâche. Les informations recueillies étaient non seulement relatives aux caractéristiques propres des sujets (informations personnelles, habitudes téléphonique, niveau d'expérience de conduite) mais faisait également référence à des points plus spécifiques concernant la situation de double tâche.

5-4/ Recueil des données et analyses

5-4-1/ Variables

5-4-1-1/ Variables indépendantes

- Condition avec téléphone - condition sans téléphone : nous avons comparé les performances en situations avec téléphone avec celles en situations sans téléphone.
- Configuration routière TAG – TAD : les comportements de conduite ont été étudiés en fonction du franchissement de l'intersection de type TAG ou TAD.
- Caractéristiques des conducteurs, conducteurs novices - conducteurs expérimentés : les comparaisons ont également été faites en fonction des caractéristiques des sujets ; qu'ils soient novices ou expérimentés.

5-4-1-2/ Variables dépendantes

- Erreurs de conduite : à chaque franchissement d'intersection, les performances de conduites des sujets ont été observées via une grille d'observation et les erreurs de conduite comptabilisées.

Les catégories d'erreurs qui suivent sont inspirées de la méthode d'analyse de l'activité de Risser (1985). Selon cette méthode, la *Wierner Fahrprobe*, il s'agit d'observer les comportements des conducteurs lors de situations particulières et, à l'aide d'une grille d'analyse de créer une typologie des erreurs.

Les erreurs concernant la dynamique du véhicule

Nous avons cherché à évaluer la dynamique du véhicule en termes de positionnement et de vitesse. L'importance de la maîtrise du véhicule fait ici référence au niveau opératoire du modèle de Michon (1985). Ce critère permet de mettre en évidence la qualité de la gestion de l'intersection.

Nous avons identifié six items correspondant à cette catégorie d'erreurs :

- Débordement sur la voie opposée : avant de s'engager le conducteur s'arrête et déborde sur la ligne blanche ou le marquage au sol du cédez le passage. Cela génère un obstacle et une gêne potentielle pour les autres usagers contraints de réajuster leur trajectoire pour éviter la collision.
- Vitesse inadaptée : il s'agit de s'assurer que la vitesse maintenue par le conducteur est adaptée à la situation. Le sujet doit arriver ni trop vite ni trop lentement sur l'intersection.
- Freinages intempestifs : il s'agit de repérer les situations où le conducteur est amené à freiner brusquement dès l'amorce de l'intersection signifiant une mauvaise compréhension de l'itinéraire à suivre, un comportement hésitant. Le freinage peut également avoir lieu au centre de l'intersection, si le conducteur est surpris par un événement ou s'il n'arrive pas à gérer l'ensemble des informations et, par conséquent, ralentit la dynamique de son véhicule.
- Hésitations : les hésitations reflètent les difficultés du conducteur à intégrer les informations qu'il perçoit et qu'il doit gérer simultanément. Sont également prises en compte les situations d'attente pour s'engager, alors que le conducteur en a la possibilité. Pour résumer, il s'agit des situations où le conducteur hésite à s'engager, s'engage sans certitude ou attend inutilement pour s'engager.
- Précipitation : qu'il y ait présence ou non de véhicules, le conducteur franchit l'intersection de façon précipitée. Cela traduit un effet de stress potentiellement lié à la gestion simultanée de plusieurs sources d'information.
- Défauts de trajectoire : il s'agit de relever la qualité de la trajectoire du véhicule en termes de positionnement et de tenue de route.

La gêne occasionnée pour les autres usagers

Ce critère fait référence à la qualité des interactions entre le conducteur et les autres usagers de la route. Considérant la multitude des utilisateurs du système routier, les actions de chacun doivent être réalisées dans le respect et la prise en compte des autres automobilistes afin d'éviter les situations conflictuelles pouvant mener à la collision. Une erreur comportementale est souvent considérée comme prédictive d'un accident.

Nous avons pris en compte deux items :

- Engagement avec véhicules en face ou à proximité : le conducteur n'a pas pris en compte ou a eu un jugement erroné relatif aux distances qui le séparent des autres véhicules. Il s'agit, dans notre situation, à la fois d'une violation du respect du code de la route ainsi que d'un comportement dangereux.
- Ralentissement induit : les difficultés de compréhension de la situation amènent le conducteur à faire des erreurs de conduite qui contraignent les autres usagers à ralentir pour maintenir une marge de sécurité.

La violation et le non respect de la signalisation

Ce critère, référant au niveau tactique du modèle de Michon (1985), relève des violations du code de la route, en termes de signalisation routière : non arrêt au stop, non respect des « cédez le passage » et des priorités, non arrêt au feu rouge. Ces comportements, en désaccord avec le code de la route, sont considérés comme dangereux.

Les erreurs concernant la recherche d'information

Il s'agit d'évaluer la qualité de la recherche d'information nécessaire à un franchissement d'intersection en toute sécurité. Ce critère est important dans la mesure où la perception représente un élément essentiel de l'activité de conduite. Ce paramètre fait référence au niveau tactique du modèle de Michon (1985).

Nous avons identifié deux zones essentielles de sources d'informations

- Non consultation des rétroviseurs : ce critère permet de vérifier que le conducteur a effectué ses contrôles avant de s'engager et permet de déterminer la prise en compte de l'environnement proche par le conducteur.
- Non surveillance des intersections : elle correspond à la surveillance de la branche de l'intersection à venir. Sa prise en compte permet de déterminer le niveau d'anticipation des conducteurs.

Pour analyser les modalités de recherche d'information nous avons procédé de la manière suivante. Pour chaque zone de regard identifiée, nous avions deux comportements possibles. Soit le conducteur surveille la zone pré-identifiée soit il ne la surveille pas. Dans la première situation, l'exploration visuelle était considérée comme correcte et dans la seconde, l'absence d'exploration était considérée comme un défaut de perception et donc une erreur.

Les erreurs concernant la communication

Evolution dans un environnement routier nécessite une communication entre les usagers afin d'assurer la sécurité de chacun. La communication entre usagers est un aspect important de l'activité de conduite. Par communication on entend les interactions entre usagers contenant au moins une information et une nécessité de répondre à cette information. Les informations données aux autres usagers sont un moyen de se faire comprendre et permettent la fluidité du réseau. Toute incompréhension étant source potentielle de danger (Bauer et al. 1981), il s'agit de déterminer les habiletés des automobilistes à transmettre des informations. Pour cela, nous nous sommes basés sur la mise ou non des clignotants. Nous avons également cherché à déterminer à quel moment ils étaient enclenchés (à temps, trop tôt ou trop tard). Ce dernier paramètre réfère au niveau tactique (Michon, 1985).

Nous avons identifié les différentes possibilités relatives à la mise des clignotants.

- Aucune signalisation : il s'agit des situations où le conducteur ne déclenche pas son clignotant.
- Déclenchement précoce des clignotants : lorsque le conducteur met son clignotant trop tôt c'est-à-dire lorsqu'il y a plusieurs autres possibilités de tournez à gauche ou à droite bien avant l'intersection cible. Une mauvaise communication avec les autres usagers peut ainsi être induite en raison de la confusion générée par cette signalisation précoce.
- Déclenchement tardif des clignotants : correspond aux situations où le conducteur a enclenché son clignotant au point zéro de l'intersection (le centre de l'intersection) ; c'est-à-dire avant l'amorce du virage.

Le tableau 6 correspond à la grille utilisée lors de l'expérimentation et regroupe l'ensemble des items évoqués ci-dessus.

Dimensions	Items	Erreur	OK
Dynamique	Débordement sur la voie opposée		
	Vitesse inadaptée		
	Freinages intempestifs		
	Hésitations		
	Précipitation		
	Défauts de trajectoire		
Gène	Engagement et véhicules à proximité		
	Ralentissement induit		
Signalisation	Non respect		
Recherche d'information	Non consultation des rétroviseurs		
	Non surveillance des intersections		
Communication (mise des clignotants)	Aucune signalisation		
	Précoce		
	Tardive		

Tableau 6: Grille d'observation du comportement de conduite (utilisée lors de l'expérimentation)

Source : Production propre

Dans cette grille sont représentées les erreurs standards pré-identifiées qu'un conducteur a pu commettre lors d'un franchissement d'intersection. Selon les items, il est ainsi possible de déterminer d'une part, si le conducteur commet une erreur de conduite lors du franchissement d'une intersection et, d'autre part, d'identifier à quel niveau a lieu cette erreur, s'il s'agit d'un défaut de perception ou d'un mauvais contrôle du véhicule par exemple.

5-4-2/ Analyses

Nous avons effectué notre analyse selon les huit catégories d'erreurs tirées de la grille de Risser (1985). Ainsi, pour chaque item deux possibilités étaient envisagées. Soit la manœuvre était effectuée sans problème et le comportement était considéré comme correct, soit ce n'était pas le cas et nous considérerions le comportement comme erroné. Pour chacun des items, nous avons additionné les erreurs et le nombre de comportement correct afin d'obtenir ensuite les pourcentages d'erreurs.

Dans un second temps, des regroupements de dimensions ont été effectués afin d'analyser l'impact de la conversation téléphonique selon la construction hiérarchique du modèle de Michon (1985) et plus particulièrement en termes de niveaux tactique et opérationnel (tableau 7).

Pour le niveau tactique, nous avons retenu la qualité de la perception puisqu'il s'agit de vérifier la manière dont le conducteur perçoit les informations. Nous avons également retenu la qualité des jugements effectués notamment par l'intermédiaire des items, « respect de

la signalisation », « hésitations » et les moments choisis pour communiquer les intentions de tourner (mise des clignotants). Pour le niveau opérationnel, ont été retenus la qualité du positionnement du véhicule, le maintien d'une vitesse adaptée, les freinages intempestifs et les précipitations car ces items correspondent à des réactions spontanées.

Le tableau 7 récapitule les différents items en fonction de leur correspondance avec les niveaux tactique et opérationnel.

Niveau	Items
Tactique	Hésitations
	Non respect de la signalisation
	Non consultation des rétroviseurs
	Non surveillance des intersections
	Aucune signalisation (clignotant)
	Signalisation précoce (clignotant)
	Signalisation tardive (clignotant)
Opérationnel	Débordement sur la voie opposée
	Vitesse inadaptée
	Freinages intempestifs
	Précipitations
	Défauts de trajectoire

Tableau 7: Répartition des items en fonction des niveaux tactique et opérationnel

Source : Production propre

5-5/ Résultats

L'analyse des données a été réalisée en deux étapes. La première phase visait à évaluer les performances globales des conducteurs. Le nombre d'erreurs commises en situation de simple et de double tâche a été comptabilisé. Nous avons ainsi obtenu un nombre d'erreurs et un nombre de « comportements » corrects pour chacune des situations analysées. Etant donné que les données ne suivaient pas une loi normale et que par conséquent il n'était pas possible de faire des ANOVAS, les analyses statistiques ont été réalisées à partir de tableau 2x2 à l'aide d'un test de chi deux.

5-5-1/ Performances globales

Les intersections retenues ont été franchies soit en situation de simple tâche soit en situation de double tâche. Nous avons supprimé de nos analyses les intersections où le téléphone sonnait tardivement, au milieu de l'intersection (neuf intersections sur 640 intersections initialement prévues (20 intersections étaient prévues pour chacun des 32 sujets). En effet, ces situations étaient susceptibles de modifier le comportement du conducteur dans la mesure où il devait à la fois préparer son virage et simultanément décrocher le téléphone. De plus, en raison d'erreurs de navigation, certaines intersections n'ont pas été franchi par les participants et de fait n'ont pas pu être prises en compte dans nos analyses.

5-5-1-1/ Situation de simple tâche – situation de double tâche

5-5-1-1-1/ Caractéristiques des conducteurs

La comparaison des situations de simple tâche et des situations de double tâche, montre un pourcentage d'erreurs nettement supérieur lors de la conversation téléphonique. Le test du chi deux nous a permis de mettre en avant une différence significative entre les performances globales des conducteurs, qu'ils soient en situation de simple tâche ou de double tâche (chi deux (1)=9.012 ; p=0.003) (figure 11).

Concernant les conducteurs novices, leurs performances globales ne présentent pas de différences significatives qu'ils soient en situation de simple tâche ou en situation de double tâche (figure 11). En revanche, comme le montre la figure 11, les performances des conducteurs expérimentés se dégradent significativement en situation de double tâche où le nombre d'erreurs est significativement plus élevé (chi deux (1)= 12.662 ; p= 0.000).

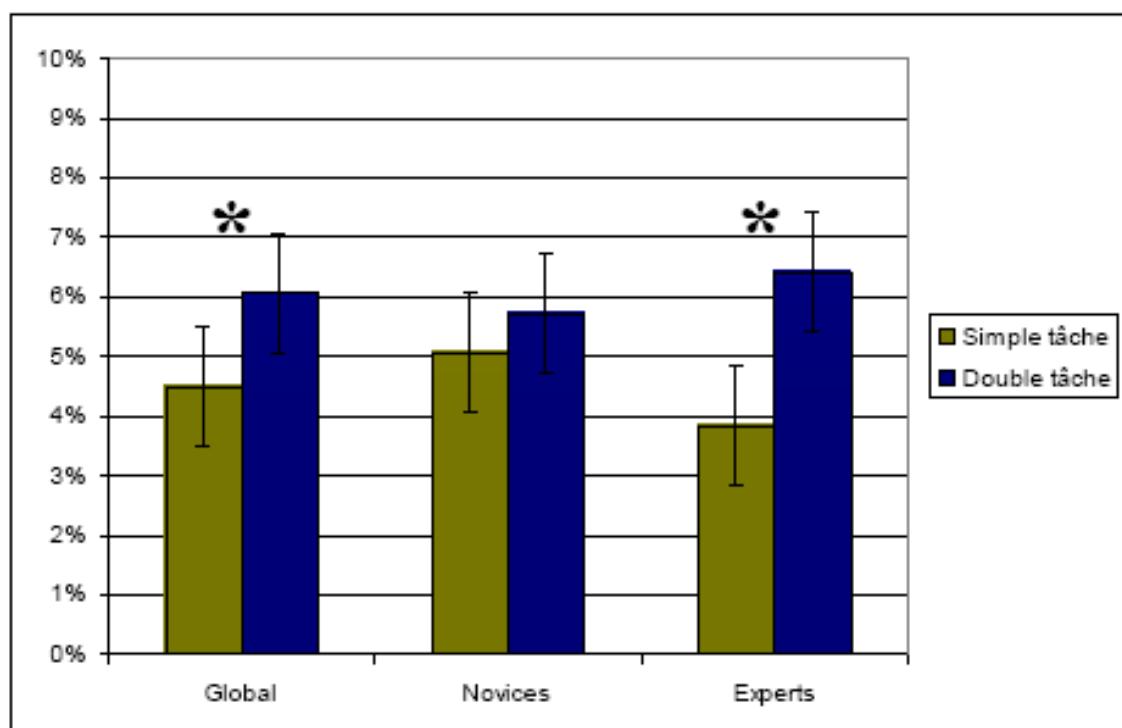


Figure 11: Pourcentage d'erreurs en simple tâche et en double tâche

5-5-1-1-2/ Configurations routières

Lorsque l'on s'intéresse aux types de configuration routière, les performances de conduite en franchissement de tourne à gauche (TAG) sont significativement différentes lorsque la manœuvre est effectuée en situation de simple ou de double tâche. Une augmentation significative du nombre d'erreurs est observée lors de la conversation téléphonique (chi deux (1)= 8.949; p=0.003) (Figure 12).

En revanche, lors d'un franchissement de tourne à droite (TAD), les performances ne diffèrent pas significativement entre les situations de simple tâche et les situations de double tâche (Figure 12).

Aussi bien en franchissement de TAG que de TAD, les performances des conducteurs novices ne présentent aucune différence significative entre les situations de simple et de double tâche (figure 12).

En revanche, lors d'un franchissement de TAG, les conducteurs expérimentés sont significativement moins performants en situations de double tâche (χ^2 deux (1)=11.989 ; $p=0.001$). Lors d'une manœuvre de franchissement de TAD, aucune différence significative n'est relevée entre les situations de simple et de double tâche (figure 12).

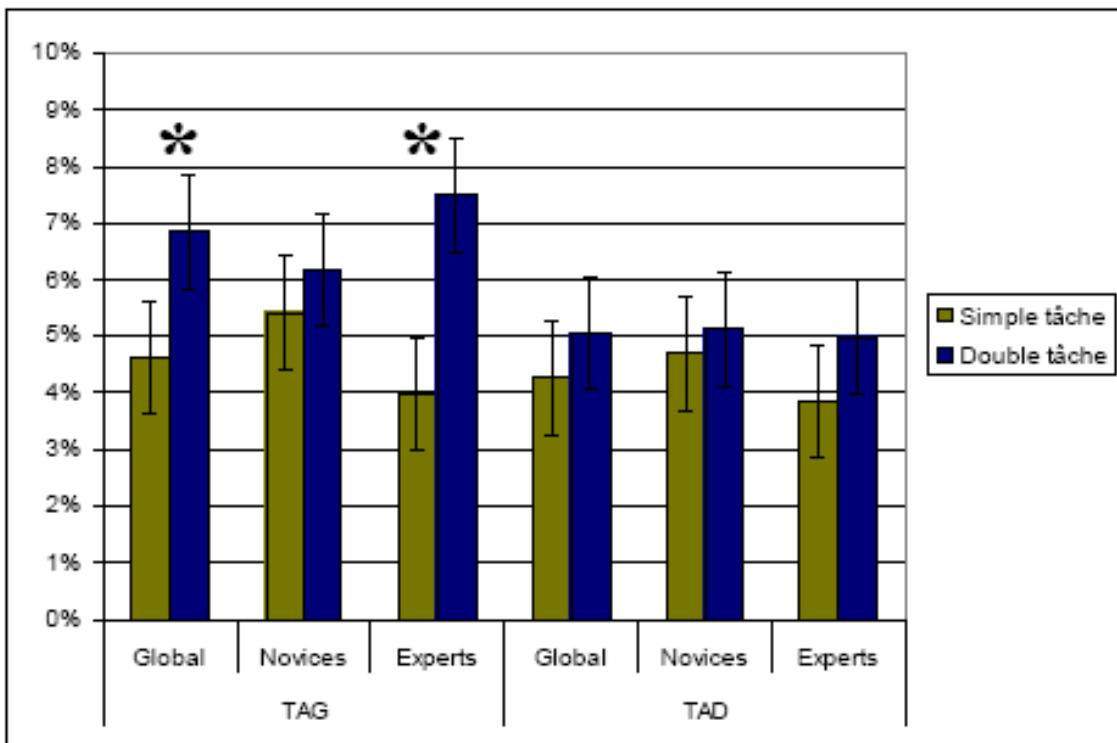


Figure 12: Pourcentage d'erreurs selon la configuration routière

5-5-1-2/ Conducteurs novices – conducteurs expérimentés

5-5-1-2-1/ Situations de conduite

Aucune différence significative n'apparaît au niveau global entre les performances des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés. Ceci est également vrai en situation de simple tâche et de double tâche.

5-5-1-2-2/ Configurations routières

Aussi bien en franchissement de TAG que de TAD, la confrontation des performances de conduite des conducteurs novices avec celles des conducteurs expérimentés ne présentent pas de différences significatives que ce soit en simple tâche ou en double tâche.

5-5-1-3/ Synthèse des résultats

Le tableau 8 récapitule les principaux résultats obtenus.

Performances globales

Situation simple tâche (ST) vs double tâche (DT)

- Impact de la DT sur les performances de conduite
- Impact de la DT sur les performances de conduite (tous conducteurs confondus) en TAG mais pas en TAD
- Impact de la DT sur les performances de conduite des conducteurs expérimentés en TAG mais pas en TAD

Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés

- Pas de différence entre les conducteurs novices et expérimentés que ce soit en ST ou en DT

Tableau 8: Principaux résultats; performances globales

5-5-2/ Comportements de conduite

Nous avons ici procédé à des analyses en fonction des dimensions identifiées dans notre grille d'évaluation du comportement de conduite.

5-5-2-1/ Situation de simple tâche - situation de double tâche

5-5-2-1-1/ Caractéristiques des conducteurs

Dynamique du véhicule

Le maintien de la dynamique du véhicule regroupe six items, le débordement sur la voie opposée, la vitesse inadaptée, les freinages intempestifs, les hésitations, la précipitation et les défauts de trajectoire. De manière générale, la confrontation des performances en situation de simple tâche avec celles des situations de double tâche ne présentent pas de différence significative (figure 13).

Concernant les conducteurs novices, il n'y a pas de différence significative au niveau du maintien de la dynamique du véhicule (figure 13). En revanche, pour les conducteurs expérimentés, l'effet de la conversation téléphonique sur le maintien global de la dynamique du véhicule est particulièrement visible. Les différences entre les situations de simple et de double tâche sont significatives (chi deux (1) = 6.817 ; p=0.009) (figure 13).

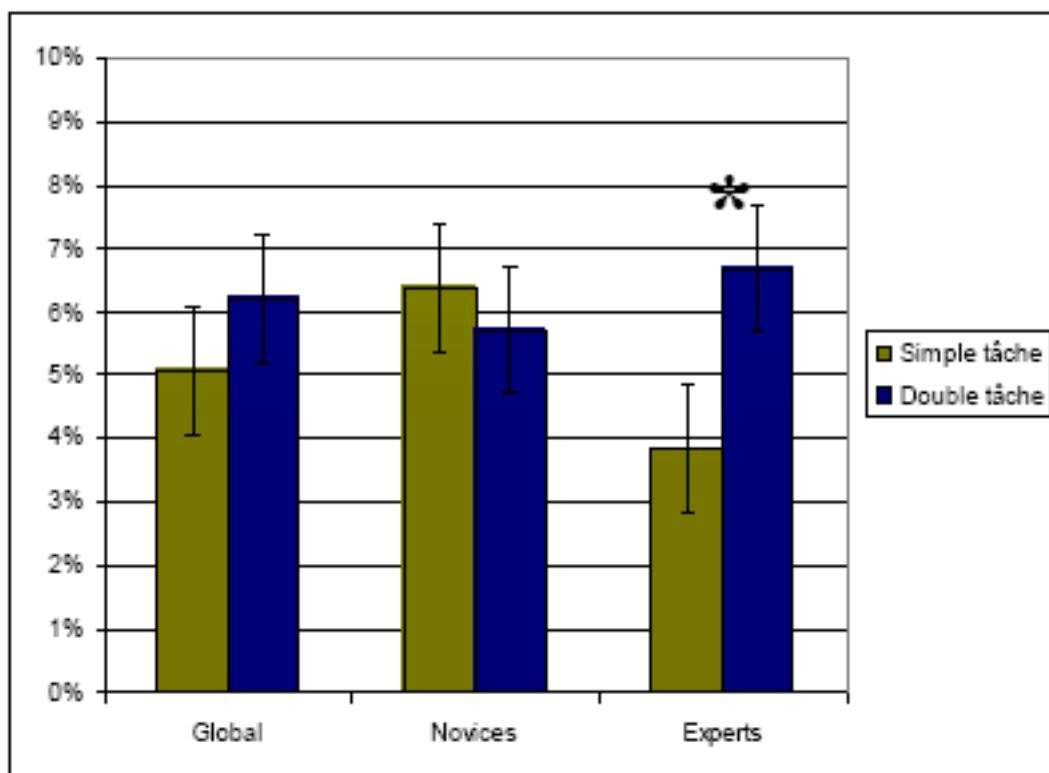


Figure 13: Pourcentages des erreurs concernant la dynamique en simple et double tâche

Gêne occasionnée pour les autres usagers

Ces situations sont très peu nombreuses et rencontrées essentiellement lors de franchissement de TAG. Dans notre expérimentation, il ressort que le pourcentage de situations durant lesquelles les conducteurs induisent une gêne pour les autres automobilistes n'est pas lié à la conversation téléphonique. Les différences entre les situations de simple et de double tâche ne sont pas significatives.

Violation et le non respect de la signalisation

Nous avons également cherché à analyser le respect de la signalisation routière¹¹. Les situations durant lesquelles les conducteurs ne respectaient pas la signalisation routière sont peu nombreuses et ne nous permettent pas de procéder à des analyses statistiques.

Recherche d'informations

Globalement, la conversation téléphonique dégrade significativement la qualité de la prise d'information (chi deux (1)= 18.470 ; p=0.000). Les erreurs de perception¹² triplent lorsque le conducteur est en situation de double tâche (9.14% vs 2.98%) (figure 14). Ces erreurs

¹¹ Ce critère relève des violations du code de la route, en termes de signalisation routière : non arrêt au stop, non respect des « cédez le passage » et des priorités, non arrêt au feu rouge. Ces comportements, en désaccord avec le code de la route, sont considérés comme dangereux.

¹² On considère comme erreurs de perception une situation où le conducteur est censé surveiller une zone d'information mais qu'il ne le fait pas. Par exemple, à l'approche de l'intersection le conducteur doit consulter ses rétroviseurs mais ne le fait pas.

sont plus nombreuses à la fois en termes de consultation de rétroviseurs (figure 15), avec une hausse de 6 % lors de la conversation téléphonique, le pourcentage d'erreurs passe de 1.75% à 7.78% (chi deux(1)=11.160 ; p=0.001), mais également en termes de surveillance de l'environnement proche à savoir l'intersection. Nous observons une augmentation des erreurs de 1.75% à 4.21% (chi deux(1)=8.020 ; p=0.005) (figure 15).

Comme le montre la figure 14, les conducteurs novices présentent une dégradation significative de la qualité de leur recherche d'information (chi deux (1)=6.153 ; p=0.013). Il y a une augmentation du nombre des erreurs d'environ 5 % (8.8% en situation de double tâche vs 3.62% en situation de simple tâche). La zone significativement dégradée en situation de double tâche correspond à la zone des rétroviseurs (chi deux (1)=7.768 ; p=0.005) (figure 15).

La recherche d'information des conducteurs expérimentés est également dégradée par la conversation téléphonique (chi deux (1)=12.930 ; p=0.000) (figure 14). Il y a une augmentation du nombre des erreurs de 7 % lorsque les conducteurs sont en double tâche. La conversation au téléphone dégrade significativement la surveillance de la zone de l'intersection, le pourcentage augmente de 10 % environ (chi deux (1)=9.632 ; p=0.002) (figure 15).

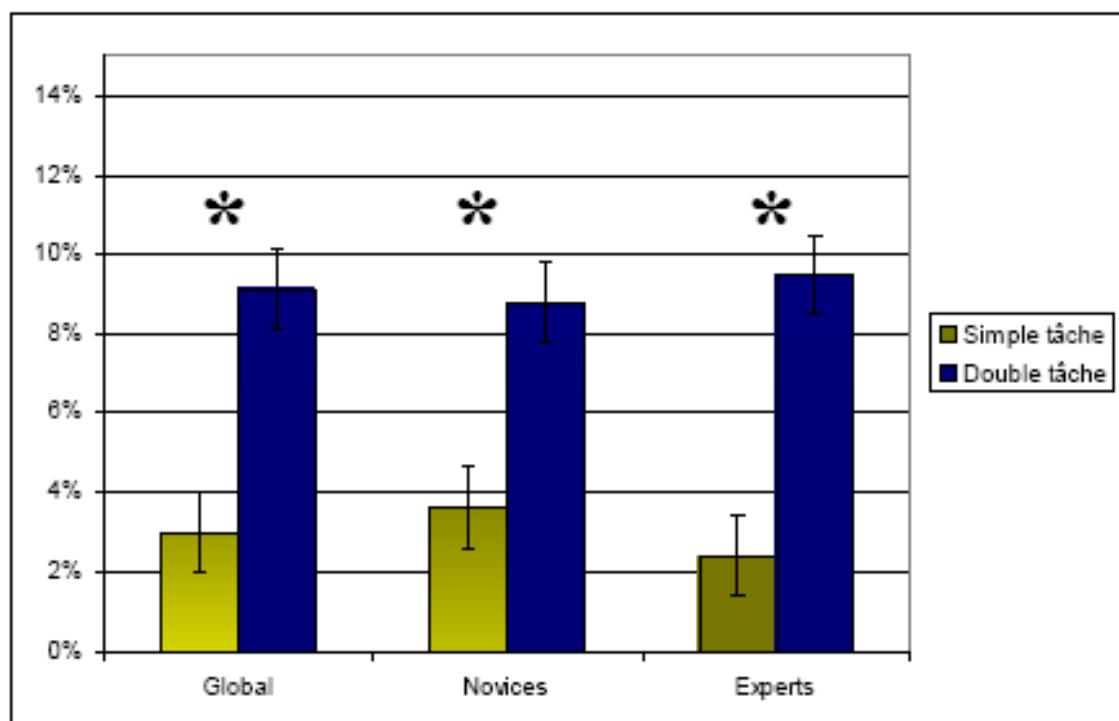


Figure 14: Pourcentages d'erreurs de recherche d'informations

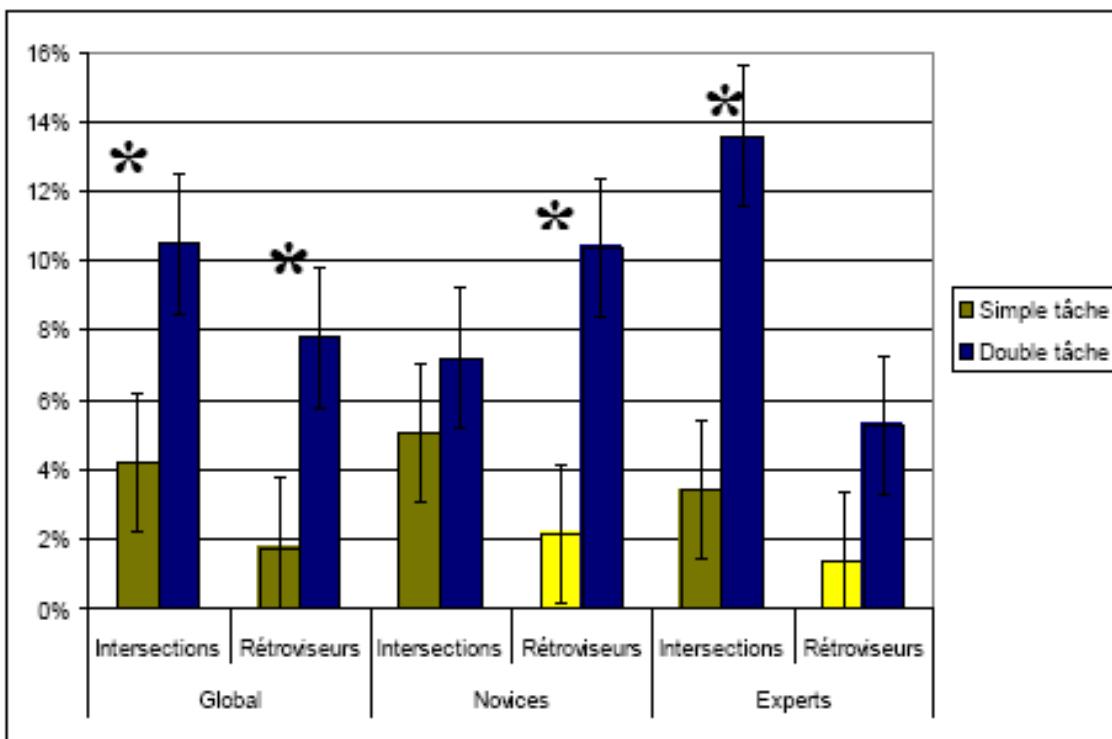


Figure 15: Pourcentages d'erreurs de recherche d'informations par zones de regards

Communication entre usagers

L'analyse de la qualité de la communication (manière dont le conducteur transmet ses intentions de tourner aux autres automobilistes) ne présente aucune différence significative entre les situations de simple et de double tâche malgré une tendance à l'augmentation des erreurs de communication lorsque le conducteur est au téléphone (χ^2 deux (1)=2.146, $p=0.143$). Rappelons que nous considérons comme erreurs de communication toutes les situations où le conducteur n'a pas enclenché son clignotant, les situations où le clignotant a été enclenché trop précocement induisant potentiellement une confusion chez les automobilistes suivants et les situations où le clignotant a été déclenché trop tardivement. En situation de simple tâche on observe des erreurs de communication dans 13.68% des cas contre 18.29% en situation de double tâche ; soit quasiment une augmentation de 5 % (figure 16).

Pour les conducteurs novices, la conversation téléphonique induit 16% de situations où une erreur de communication est enregistrée contre 10.87% des cas en situation de simple tâche. Toutefois, ces différences ne présentent pas de différence significative (figure 16)

Chez les conducteurs expérimentés, il y a 20.45% d'erreurs commises en situation de double tâche contre 16.33% en situation de simple tâche mais aucune différence significative n'est relevée (figure 16)

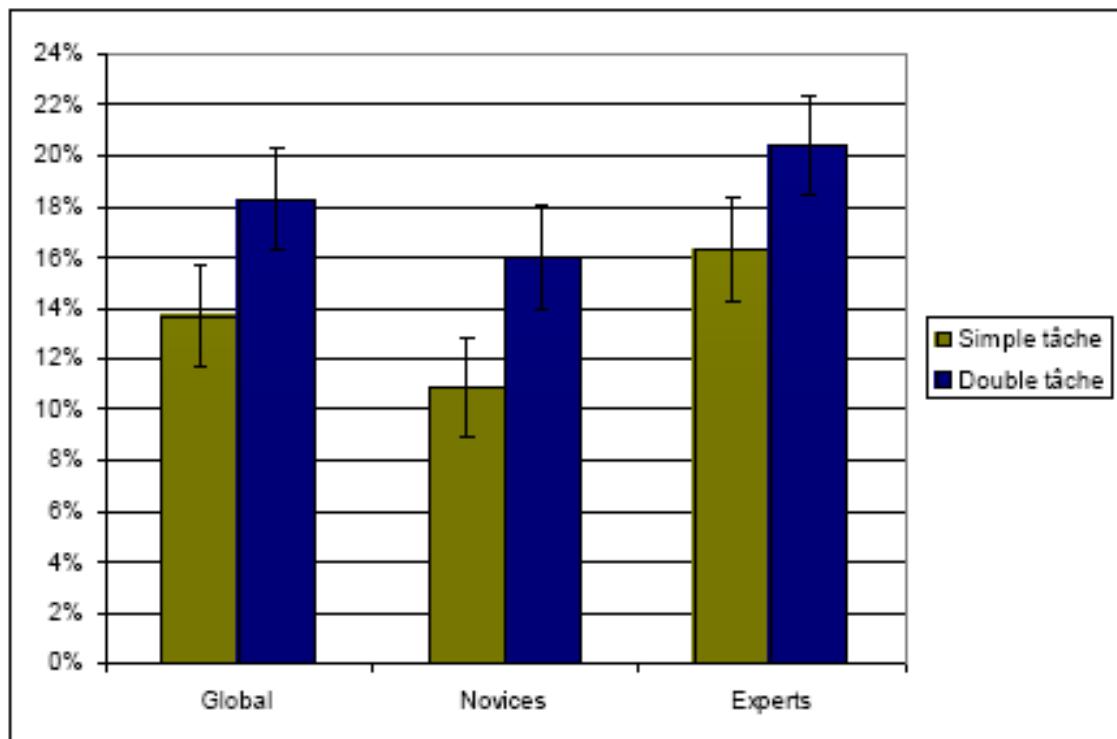


Figure 16: Pourcentages d'erreurs de communication

5-5-2-1-2/ Configurations routières

Dynamique du véhicule

Lorsque l'on s'intéresse au maintien de la dynamique du véhicule selon que les conducteurs franchissent un TAG ou un TAD, on observe aucune différence significative entre les situations de simple et de double tâche. Ceci est également vrai lorsque l'on s'intéresse exclusivement aux conducteurs novices (figure 17).

En revanche, pour les conducteurs expérimentés, l'analyse des franchissements d'intersections de type tourne à gauche révèle une augmentation significative des erreurs concernant la dynamique du véhicule en situation de double tâche (chi deux (1)=6,838 ; p=0,009) (figure 17).

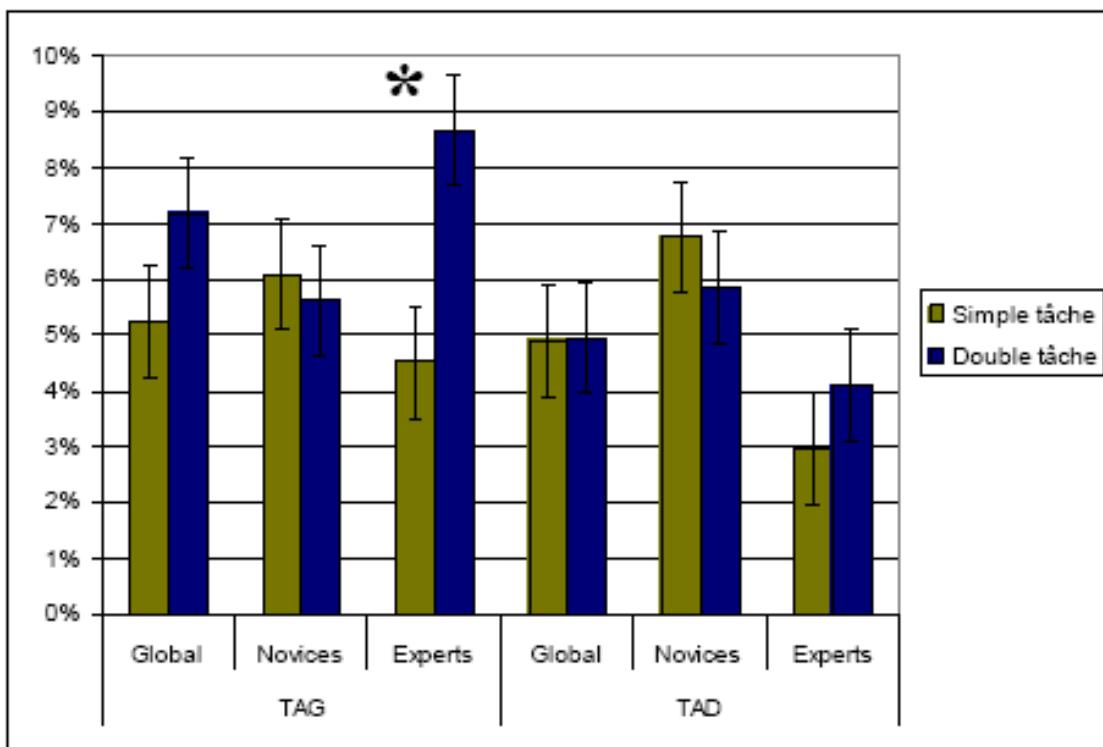


Figure 17: Pourcentages des erreurs concernant la dynamique selon le type de configuration routière (simple tâche vs double tâche)

Recherche d'informations

En situation de double tâche, les franchissements de type TAG présentent une augmentation significative des erreurs dans la recherche d'informations (chi deux (1)=17.038 ; p=0.000) (figure 18). Les dégradations sont significatives à la fois en terme de consultation des rétroviseurs (chi deux(1)=10.724 ; p=0.001) et de surveillance de l'intersection (chi deux(1)=6.762 ; p=0.009). Pour les franchissements de type TAD, il n'y a pas de recherche d'informations significativement différente que les conducteurs évoluent en situation de simple ou de double tâche.

La recherche d'informations des conducteurs novices en TAG est perturbée par la conversation téléphonique (chi deux (1)=6,622 ; p=0,010) (figure 18). Les perturbations sont significatives au niveau de la surveillance de la zones rétroviseurs (chi deux (1)=7.237 ; p=0.007). On observe toutefois une tendance quant à la dégradation relative à la surveillance de l'intersection (chi deux (1)=2.689 ; p=0.101).

La recherche d'informations des conducteurs expérimentés en TAG est perturbée par la conversation téléphonique (chi deux (1)=7,756 ; p=0,005) (figure 18). Les dégradations sont visibles au niveau de la surveillance des intersections (chi deux (1)=4.121 ; p=0.42) et de celles des rétroviseurs (chi deux (1)=3.657 ; p=0.56).

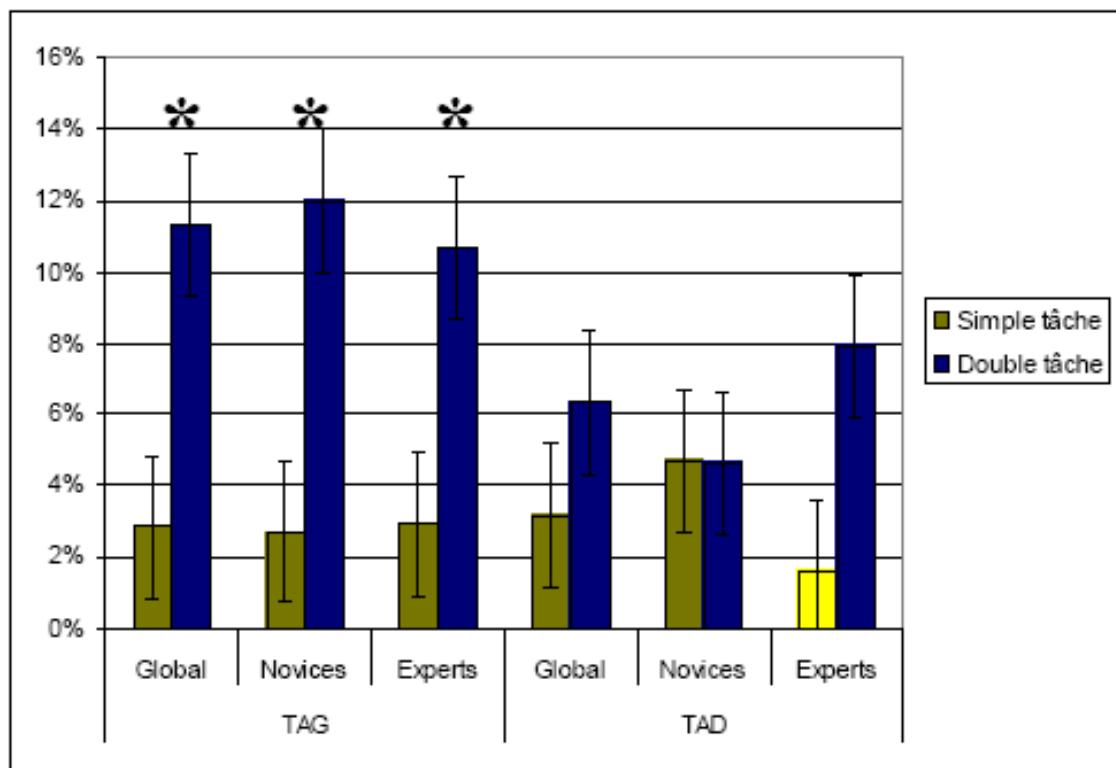


Figure 18: Pourcentages d'erreurs de recherche d'informations selon le type de configuration routière

Communication entre usagers

Le type de configurations routières n'a pas d'effet sur la qualité de la communication avec les autres usagers entre simple et double tâche (figure 18).

Aussi bien pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés, le franchissement d'une intersection de type TAG ou TAD ne présentent pas de différence significative entre les situations de simple tâche et de double tâche (figure 18).

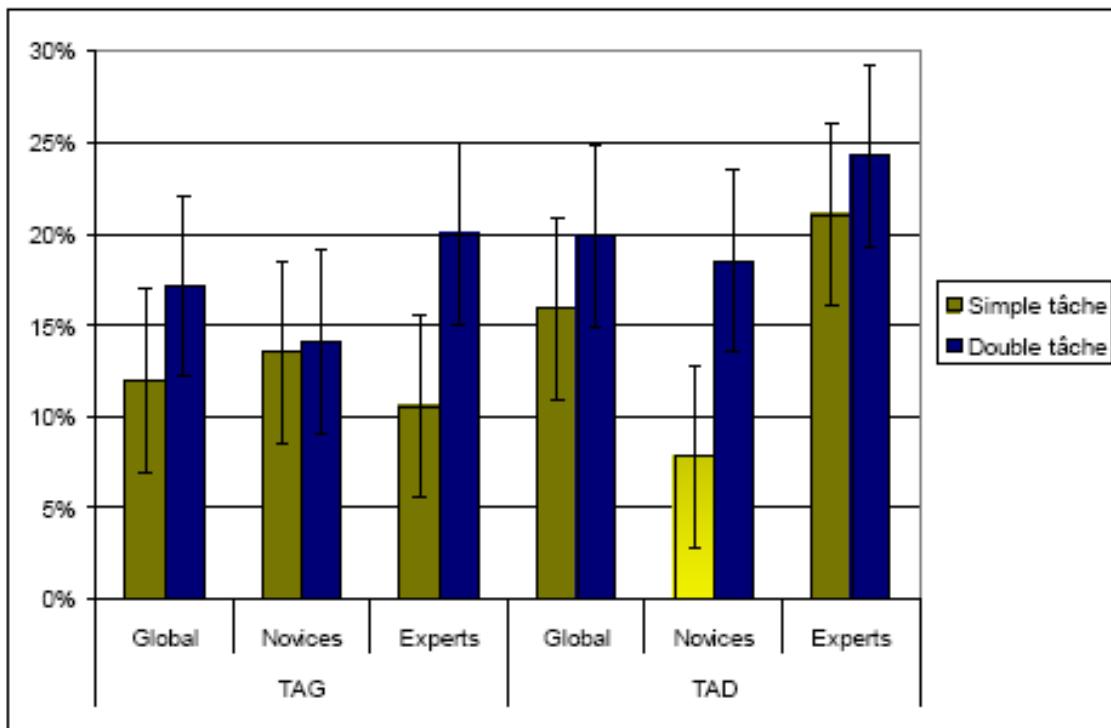


Figure 19: Pourcentages d'erreurs de communication selon le type de configuration routière (simple tâche vs double tâche)

5-5-2-2/ Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés

5-5-2-2-1/ Situations de conduite

Globalement, quelle que soit la dimension analysée, il n'y a pas de différences entre les performances des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés. Il n'y a pas d'effet d'expérience sur le maintien de la dynamique du véhicule, sur la recherche d'informations ou encore sur la qualité de la communication avec les autres usagers. Ceci est également vrai pour les situations de simple tâche et pour les situations de double tâche.

5-5-2-2-2/ Configurations routières

Dynamique du véhicule

En situation de simple tâche, la manœuvre de franchissement de TAG ne présente pas de différence significative entre les performances des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés. Lors du franchissement d'une intersection de type TAD, les conducteurs novices sont moins performants au niveau du maintien de la dynamique du véhicule que les conducteurs expérimentés ($\chi^2 = 5.905$; $p = 0.015$) (figure 20).

En situation de double tâche, les conducteurs novices font plus d'erreurs que les conducteurs expérimentés lors d'intersection de type TAD ($\chi^2 = 3.016$; $p = 0.082$) (figure 20).

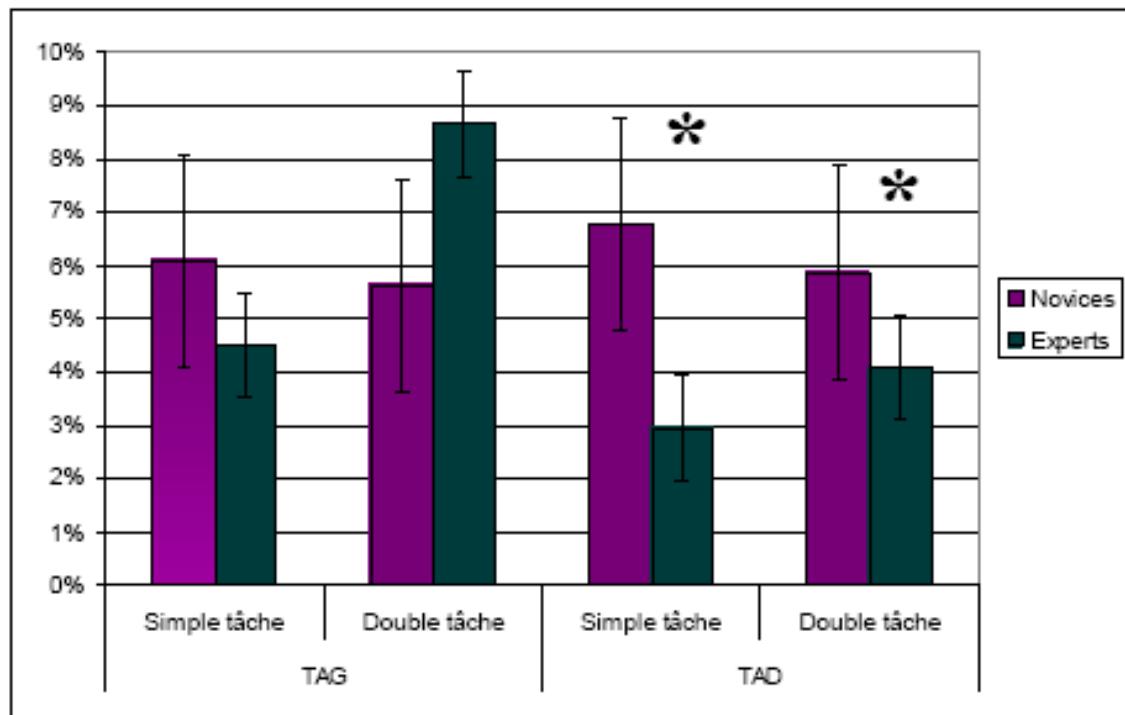


Figure 20: Pourcentages des erreurs concernant la dynamique selon le type de configuration routière (novices vs experts)

Recherche d'informations

Aussi bien en situation de simple tâche qu'en situation de double tâche, il n'y a pas de différence significative entre la recherche d'information des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés, qu'il s'agisse d'une manœuvre de TAG ou de TAD (Figure 21).

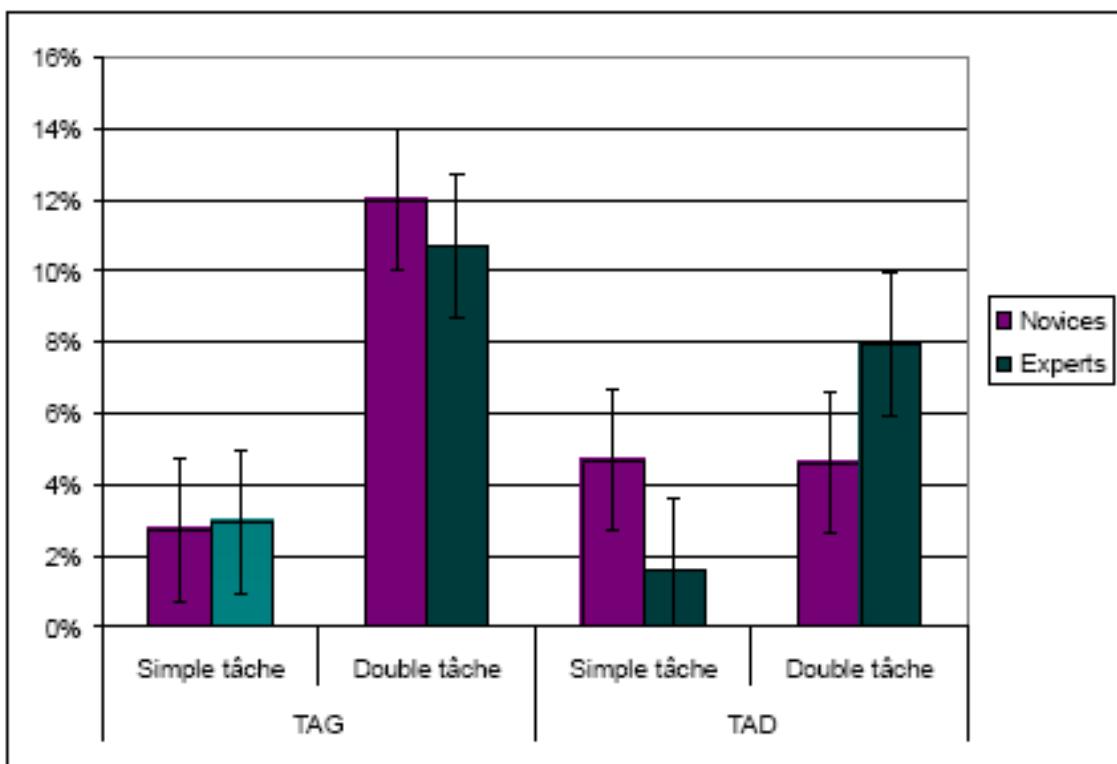


Figure 21: Pourcentages d'erreurs de recherche d'informations selon les caractéristiques des conducteurs (TAG/TAD)

Communication entre usagers

Aussi bien en situation de simple tâche que de double tâche, il n'y a pas de différence significative au niveau des caractéristiques de la communication entre usagers des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés, qu'il s'agisse d'une manœuvre de TAG ou de TAD (figure 22).

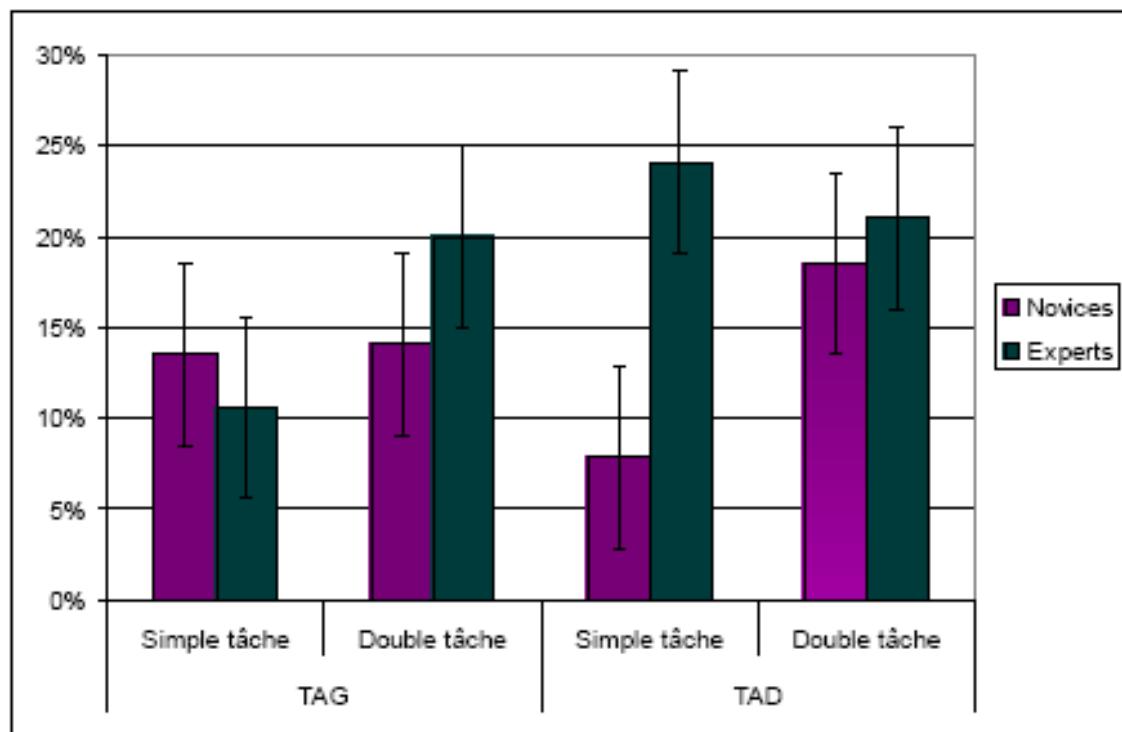


Figure 22: Pourcentages d'erreurs de communication selon le type de configuration routière (conducteurs novices vs conducteurs expérimentés)

5-5-2-3/ Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux résultats obtenus.

Eléments comportements de conduite	
<u>Situation simple tâche (ST) vs double tâche (DT)</u>	
○	Impact de la DT sur la dynamique du véhicule pour les conducteurs expérimentés
○	Recherche d'informations :
▪	Impact global de la DT pour tous les conducteurs
▪	Impact de la DT sur la consultation des rétroviseurs par les conducteurs novices en TAG
▪	Impact de la DT sur la surveillance de l'intersection par les conducteurs expérimentés en TAG
<u>Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés</u>	
○	Les conducteurs expérimentés contrôlent mieux la dynamique du véhicule que les conducteurs novices dans les TAD que ce soit en ST ou en DT

Tableau 9: Principaux résultats, comportements de conduite

5-3-4/ Niveaux hiérarchiques de l'activité de conduite

L'objectif est d'analyser l'impact de la conversation téléphonique selon les niveaux hiérarchiques de l'activité de conduite. Il s'agit plus spécifiquement d'analyser les performances des conducteurs en fonction des regroupements d'items que nous avons préalablement effectués, à savoir en fonction des niveaux tactique et opérationnel.

5-3-4-1/ Situation de simple tâche - situation de double tâche

5-3-4-1-1/ Caractéristiques des conducteurs

L'analyse des performances en situation de simple et double tâche révèle un impact négatif de la conversation au niveau tactique (la communication, la recherche d'informations, les hésitations, le non respect de la signalisation) lorsque l'on observe les performances de tous les conducteurs (chi deux (1)=9.706 ; p=0.002) (figure 23).

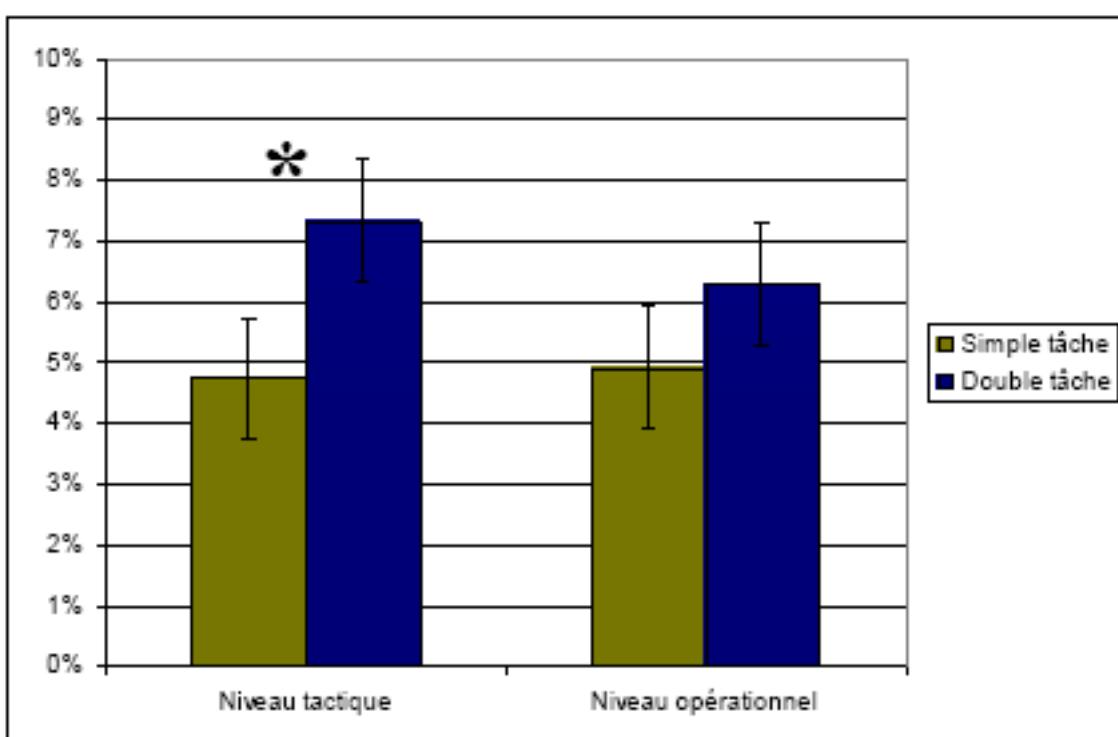


Figure 23: Pourcentages d'erreurs aux niveaux tactique et opérationnel

En situation de double tâche, les conducteurs novices ont davantage de difficultés au niveau tactique en situations de double tâche (chi deux (1)=7.250 ; p=0.007) (figure 24).

En revanche, pour les conducteurs expérimentés, la perturbation générée par la conversation téléphonique est significative au niveau opérationnel (chi deux (1)=11.858 ; p=0.001) (figure 24).

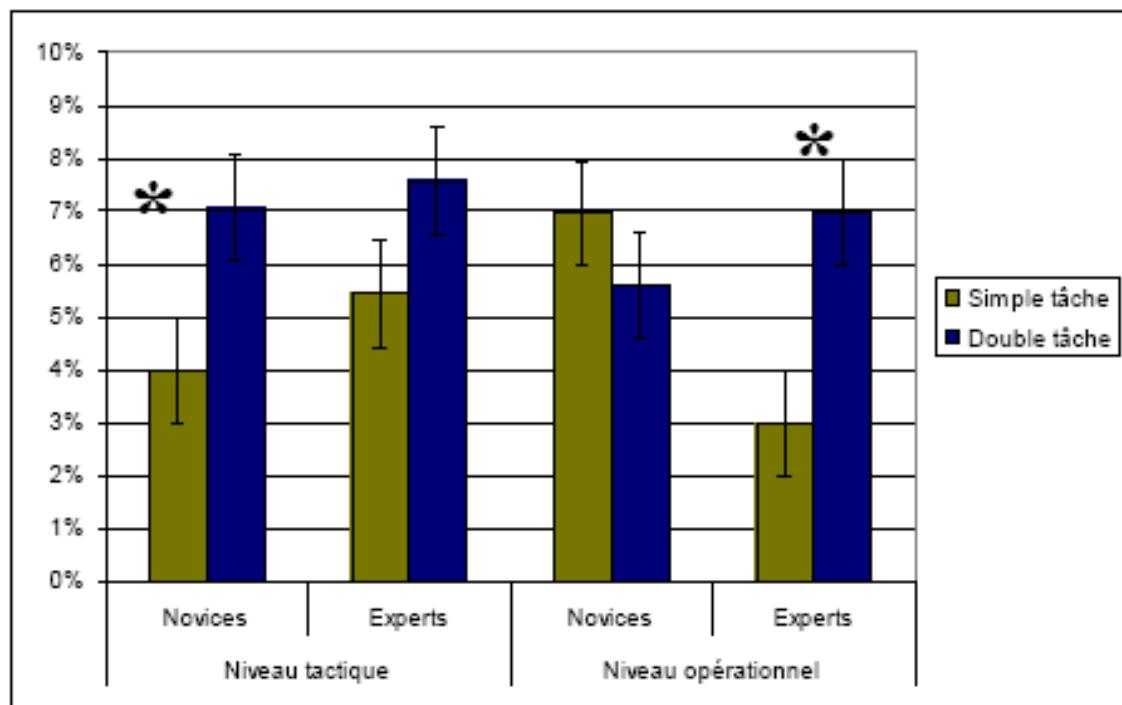


Figure 24: Pourcentages d'erreurs aux niveaux tactique et opérationnel, selon le groupe de conducteurs

5-3-4-1-2/ Configurations routières

Lorsque l'on observe les performances obtenues lors du franchissement de TAG, il y a un impact négatif de la conversation téléphonique aussi bien au niveau tactique (chi deux (1)=8,589 ; p=0,003) qu'au niveau opérationnel (chi deux (1)=4,081 ; p=0,043) (figure 25). En revanche lors du franchissement d'une intersection de type TAD, il n'y a aucune différence significative entre les situations de simple tâche et les situations de double tâche, aussi bien au niveau tactique qu'au niveau opérationnel.

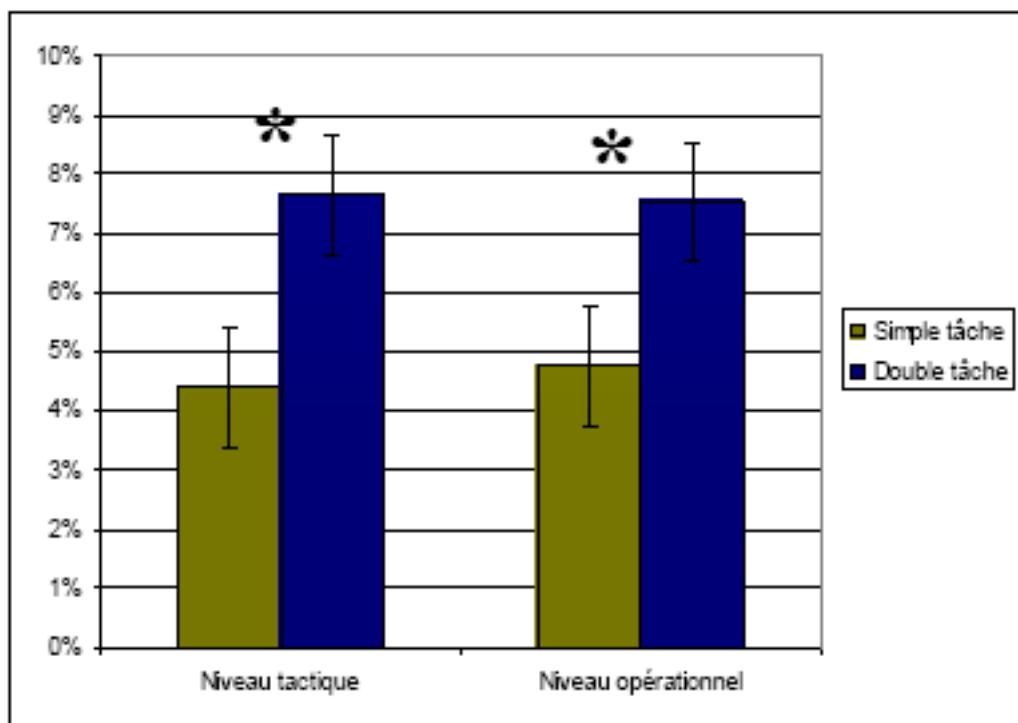


Figure 25 : Pourcentages d'erreurs aux niveaux tactique et opérationnel en TAG

Lors d'un TAG, les performances des conducteurs novices se dégradent significativement au niveau tactique durant la situation de double tâche (χ^2 deux (1)=5,371 ; $p=0,020$). Il n'y a pas de différence significative au niveau opérationnel (figure 26). Lors d'un TAD, aucune différence significative entre les situations de simple tâche et de double tâche n'est visible aussi bien pour le niveau tactique que pour le niveau opérationnel.

Lors d'un TAG, les performances des conducteurs expérimentés se dégradent significativement au niveau opérationnel durant la situation de double tâche (χ^2 deux (1)= 12,300 ; $p=0,000$). Il n'y a pas de différence significative au niveau tactique (figure 26). Lors d'un TAD, aucune différence significative entre les situations de simple tâche et de double tâche n'est visible aussi bien pour le niveau tactique que pour le niveau opérationnel.

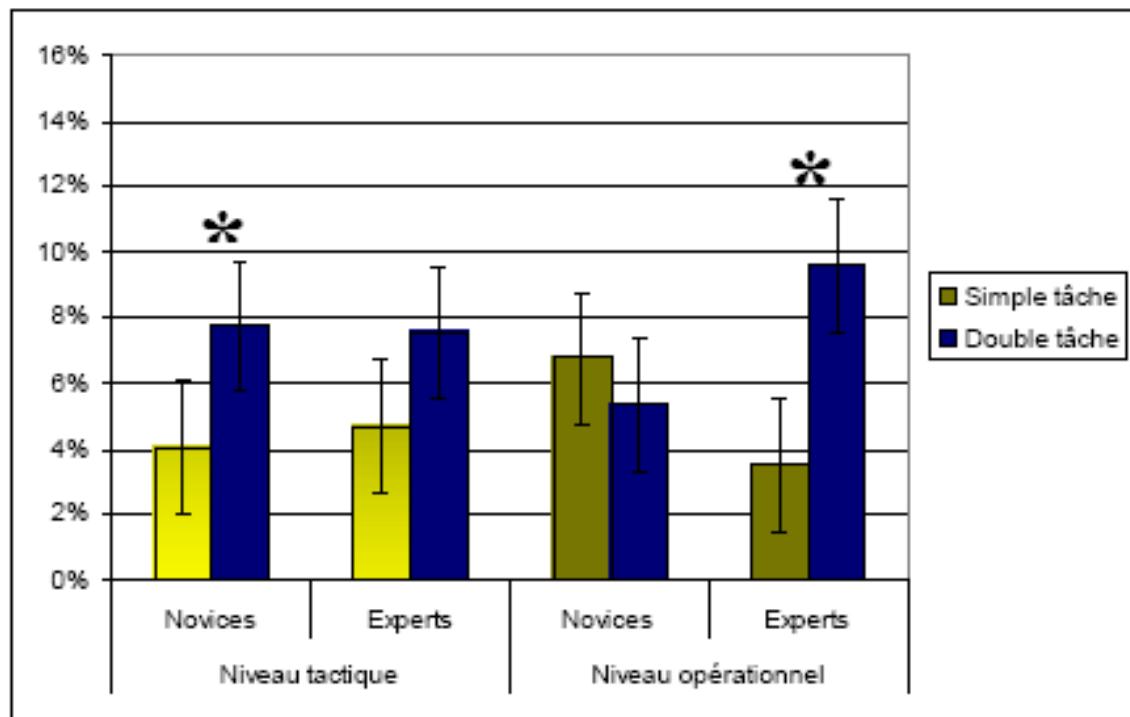


Figure 26: Pourcentages d'erreurs aux niveaux tactique et opérationnel en TAG, selon le groupe de conducteurs

5-2-4-2/ Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés

5-2-4-2-1/ Situations de conduite

En situation de simple tâche, nous observons une différence significative entre les performances des conducteurs novices et celles des conducteurs expérimentés pour le niveau opérationnel (χ^2 (1)=11.968 ; $p=0.001$). Toutefois aucune différence significative n'est relevée en situation de double tâche.

5-2-4-2-2/ Configurations routières

Lors du franchissement d'un TAG, la comparaison des performances des conducteurs novices à celles des conducteurs expérimentés ne révèle aucun effet d'expérience au niveau tactique. Toutefois, on observe un effet d'expérience au niveau opérationnel. Les conducteurs novices sont significativement moins performants que les conducteurs expérimentés (χ^2 (1)=4.312 ; $p=0.038$). Cet effet d'expérience au niveau opérationnel est perçu également en situations de simple tâche (χ^2 (1)=8.437 ; $p=0.004$). En revanche, en situation de double tâche (χ^2 (1)=4.723 ; $p=0.030$), les conducteurs expérimentés sont moins performants que les conducteurs novices (figure 27).

Lors du franchissement d'un TAD, il n'y a pas de différence entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés, quelle que soit la condition de conduite.

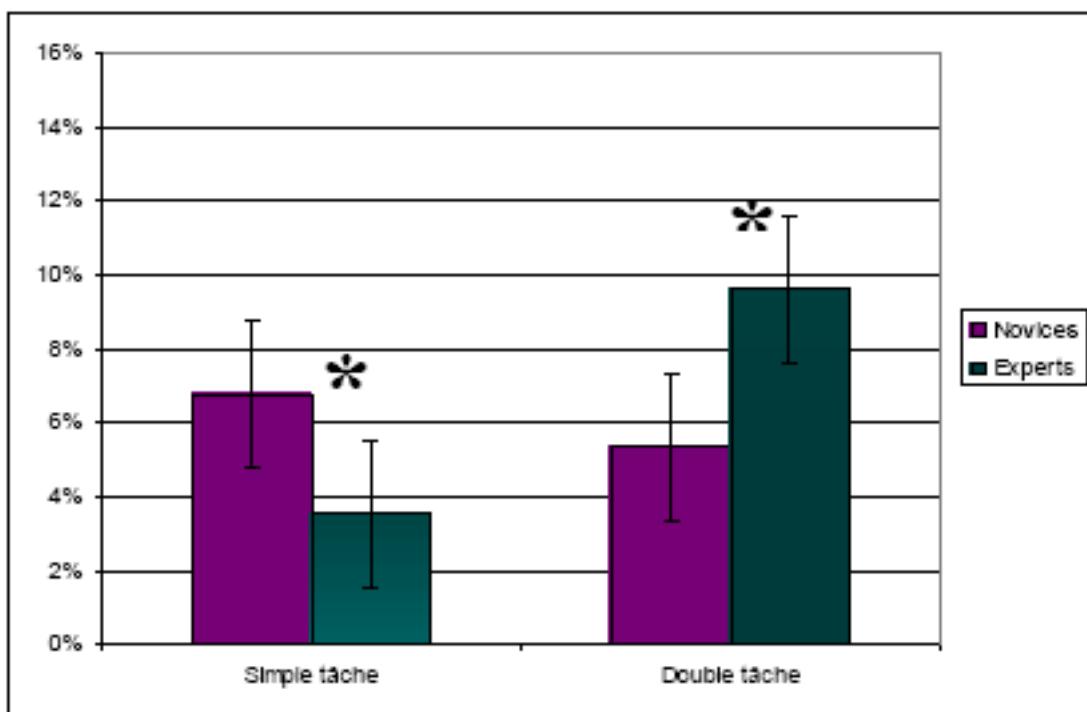


Figure 27: Pourcentages d'erreurs au niveau opérationnel, selon le groupe de conducteurs en TAG

5-3-4-3/ Synthèse des résultats

Le tableau 10 présente une synthèse des résultats obtenus.

Niveaux hiérarchique de l'activité de conduite (Michon, 1985)

Situation tâche simple vs double tâche

- Globalement, impact de la DT au niveau tactique
 - Impact de la DT au niveau tactique chez les conducteurs novices
 - Impact de la DT au niveau opérationnel chez les conducteurs expérimentés
- TAG, impact de la DT au niveau opérationnel et au niveau tactique
 - Impact de la DT au niveau tactique chez les conducteurs novices
 - Impact de la DT niveau opérationnel chez les conducteurs expérimentés

Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés

- Situation ST, différence entre conducteurs expérimentés et conducteurs novices au niveau opérationnel
- TAG, situations de ST, conducteurs novices moins performants que conducteurs expérimentés
- TAG, situations de DT, conducteurs expérimentés moins performants que les conducteurs novices

Tableau 10: Principaux résultats, niveau hiérarchique de l'activité de conduite

5-6/ Discussion

La littérature a identifié l'impact négatif d'une conversation téléphonique sur les performances de conduite (Brusque, 2007). Ainsi, il était intéressant de vérifier ces résultats en situations complexes de conduite, que nous avons analysées au travers de manœuvre de franchissement d'intersections de type tourne à gauche (TAG) et tourne à droite (TAD). Nous avions tout d'abord émis l'hypothèse selon laquelle la conversation téléphonique dégraderait les performances globales de conduite. Nous avons, en effet, observé des effets de la conversation téléphonique différents selon les caractéristiques des conducteurs.

Au niveau du maintien de la dynamique du véhicule

Nous supposions de moins bonnes performances pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés en raison du faible développement de leurs compétences de conduite (Matthew & Mouran, 1986) et des performances meilleures en situations de simple tâche par rapport aux situations de double tâche.

Au niveau du maintien de la dynamique du véhicule, caractérisé par les variables relatives au débordement sur la voie opposée, par une vitesse inadaptée, par des freinages intempestifs, des hésitations, des précipitations à s'engager et des défauts de trajectoires, nous pouvons en partie valider cette hypothèse. En situation de simple tâche et lors de franchissement d'intersections de type TAD, la confrontation des performances des conducteurs révèlent de plus mauvaises performances chez les conducteurs novices. Dans ces situations, ce résultat coïncide avec la littérature et met en avant l'effet de l'expérience sur l'acquisition des capacités de conduite. En effet, les conducteurs novices sont toujours au stade d'apprentissage et cela se répercute au niveau cognitif par une importante demande de ressources attentionnelles qu'il faut assujettir aux sous-tâches de contrôle du véhicule. Progressivement, avec l'acquisition de l'expérience de conduite, les compétences nécessaires au contrôle du véhicule s'automatisent et libèrent davantage de ressources attentionnelles pour gérer les autres aspects de l'activité de conduite : la perception, le traitement de l'information ou la prise de décision.

Nous avons également voulu vérifier si les performances de conduite étaient meilleures en situations de simple tâche par rapport aux situations de double tâche quel que soit le groupe de conducteurs. Ainsi, au niveau de la dynamique du véhicule, les analyses nous ont montré que l'impact de la conversation téléphonique était différent selon le groupe de conducteurs. En situation de double tâche, les performances des conducteurs expérimentés sont significativement dégradées. Lorsqu'il s'agit des conducteurs novices, le maintien de la dynamique ne présente pas de différence significative entre simple et double tâche. Il semblerait que ce résultat contredise les données de la littérature notamment ceux de Redelmeier et Tibshirani (1997) pour qui le risque associé à l'utilisation du téléphone portable est plus important pour les conducteurs novices. De plus, en situation de double tâche, aucun effet d'expérience n'est perçu et il n'y a pas de différence significative entre les deux populations de conducteurs.

Ces résultats nous ont conduits à émettre plusieurs hypothèses. Nous pouvons tout d'abord nous interroger sur le niveau de performances. Lorsque le niveau de performance en simple tâche est bas, tel que c'est le cas pour les conducteurs novices, même avec une de conversation téléphonique, il ne descendra pas plus bas. Les performances ne pourront être plus faibles. Cette hypothèse est confortée par le fait que les conducteurs expérimentés ne présentent pas de différences avec les novices en situation de double tâche en ce qui concerne le maintien de la dynamique du véhicule. Une autre hypothèse peut également être envisagée. Les premières recherches sur les effets du téléphone portable ont été effectuées au début de l'apparition du téléphone portable dans les véhicules. De fait, son utilisation était encore une activité nouvelle pour les conducteurs rendant la gestion de la situation de double tâche difficile. Depuis, une nouvelle génération de conducteurs habitués aux nouvelles technologies est apparue. Il s'agit des jeunes qui utilisent le téléphone depuis toujours et quelle que soit la situation. Cette utilisation excessive du téléphone leur a permis de développer des automatismes qui pourraient faciliter la gestion des situations d'attention partagée. C'est ainsi que nous émettons une nouvelle hypothèse selon laquelle les conducteurs novices pourraient être moins affectés par la conversation téléphonique au volant.

Au niveau de la recherche d'informations

Nous avions émis des hypothèses relatives aux caractéristiques des stratégies visuelles des conducteurs lors de manœuvres de franchissement d'intersections. Un conducteur doit continuellement être capable de surveiller l'ensemble des zones pertinentes de la scène routière, d'autant plus qu'il s'agit de franchir une intersection. Nous avons ainsi supposé que l'interférence entre la demande de l'activité de conduite et la demande liée à la conversation téléphonique se traduirait par une dégradation et une modification de la recherche d'informations, marquée notamment par une réduction de l'attention visuelle et une exploration visuelle moins dynamique. Nous nous attendions ainsi à ce que les regards soient davantage dirigés vers l'avant et que la surveillance des zones stratégiques (rétroviseurs par exemple) soit réduite. Pour tester cette hypothèse, nous avons relevé les erreurs dans la surveillance de deux zones d'exploration : les rétroviseurs et l'environnement proche. L'inspection des rétroviseurs nous a permis de vérifier que les conducteurs avaient bien effectué des contrôles avant de s'engager dans l'intersection. L'inspection de l'environnement proche, c'est-à-dire de la branche à venir de l'intersection, nous a permis de déterminer un certain niveau d'anticipation des conducteurs. Globalement, nos résultats valident nos hypothèses et confirment les données de la littérature (Brusque, 2007) dans la mesure où nous avons pu observer une recherche d'information moins active en situation de double tâche. Nous pouvons en déduire que la conversation téléphonique réduit la capacité d'anticiper les événements présents dans l'intersection d'une part, en réduisant la surveillance de l'intersection et, d'autre part, en induisant une baisse de la consultation des rétroviseurs. Recarte et Nunes (2003) avaient préalablement démontré une diminution de la consultation des rétroviseurs avec une augmentation de la charge cognitive. Ainsi, la charge cognitive engendrée par la conversation téléphonique associée à la complexité de la situation de conduite pourrait entraîner une certaine rigidité du regard. Par rigidité du regard nous entendons un nombre supérieur de regards dirigés vers l'avant et de moindres mouvements de tête pour rechercher l'information dans les zones environnantes. Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de Chapman et al. (2002) qui ont identifié des fixations plus longues et des regards essentiellement vers l'avant et dans des zones proches du véhicule. Nos résultats se rapprochent également de ceux de Recarte et Nunes (2000, 2003), ainsi que de ceux de Harbluk et Noy (2002) pour qui cette rigidité du regard pourrait s'apparenter à un effet tunnel causé par la conversation téléphonique. Cet effet tunnel est expliqué par des regards fixes vers l'avant et une réduction du champ visuel. Toutes les informations extérieures à ce champ de vision n'étant pas prises en compte. Toutefois, ce phénomène a été observé sur des circuits de conduite complets. Contrairement à notre expérimentation, il s'agit de parcours en environnement réel incluant différentes situations de conduite notamment des lignes droites, cas dans lesquels il est davantage susceptible de se produire. Pour notre expérimentation, il est difficile de conclure à un effet tunnel malgré une augmentation des défauts de surveillance des zones identifiées. Pour cela, il nous aurait fallu associer des données supplémentaires en analysant plus spécifiquement les mouvements des regards. Nous pouvons toutefois conclure qu'en franchissement d'intersections, une conversation téléphonique empêche le conducteur de prendre en compte les informations essentielles à sa manœuvre.

Le second objectif était de vérifier l'état de ces perturbations en fonction des groupes de conducteurs identifiés. Pour cela nous avions émis l'hypothèse selon laquelle les zones de regards essentielles aux franchissements d'intersections seraient moins inspectées par les conducteurs novices que par les conducteurs expérimentés, aussi bien en situation de simple tâche que de double tâche. Pour émettre cette hypothèse nous nous étions basé

sur les résultats de plusieurs études dont celle de Underwood et al. (2002) qui démontrait que l'exploration visuelle changeait et s'améliorait au fur et à mesure qu'un conducteur acquiert de l'expérience. Pour Deery (1999), les premiers trajets des conducteurs novices sont caractérisés par une absence de stratégies de recueil d'informations. L'exploration visuelle n'est pas organisée car ces conducteurs n'ont pas encore mis en place des modes de recherches d'informations qui leurs permettraient d'anticiper les changements dans l'environnement routier (Deery 1999) et ils n'ont pas encore appris à utiliser leur vision périphérique pour optimiser leur recherche d'information (Mourant & Rockwell, 1972 ; Deery, 1999). D'après Falkmer et Gregersen (2001), les conducteurs novices concentreraient leur recherche visuelle plus vers l'avant du véhicule dans des zones proches de celui-ci alors que les conducteurs experts auraient un champ de vision horizontale plus large. Nos résultats ne confirment pas les données de la littérature et ne permettent pas de valider notre hypothèse en raison de l'absence de différence significative entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés aussi bien en situation de simple tâche que de double tâche.

Nos résultats ont montré qu'une conversation téléphonique perturbait les conducteurs expérimentés, sur une compétence qu'ils sont supposés avoir acquise avec la pratique. En effet, ces conducteurs ont pour habitude de regarder au loin pour mieux anticiper les événements à venir. Toutefois, avec la conversation téléphonique, la portée de leurs regards se réduit et la caractéristique anticipatrice de leurs stratégies visuelles a perdu de son ampleur. Nous avons notamment relevé une baisse significative de la recherche d'informations au niveau de la branche à venir de l'intersection lors de la situation de double tâche. Nous pouvons ainsi émettre l'hypothèse qu'en situation de double tâche les conducteurs expérimentés ont compensé la surcharge attentionnelle induite par la conversation téléphonique en utilisant leur vision périphérique, ce que nous n'avons pas pu mesurer. Cela expliquerait la diminution des regards destinés à surveiller les alentours de l'intersection.

Concernant les conducteurs novices, on observe une baisse de la consultation des rétroviseurs en situation de double tâche. Ce résultat coïncide avec ceux d'autres études montrant également une diminution de la consultation des rétroviseurs. Par ailleurs, Rockwell et Mourant (1972) avaient mis en avant des lacunes dans la recherche d'informations lorsque la charge mentale augmente. Les regards sont davantage dirigés vers l'avant et plus rarement dans les rétroviseurs. Rappelons toutefois que les patterns des mouvements oculaires des débutants changent de façon substantielle durant les premiers mois de pratique. Ils concentrent tout d'abord leur recherche d'information dans des petites aires, proches de l'avant du véhicule et ce n'est qu'après quelques mois de pratique que le nombre élevé des fixations vers la zone précédent le véhicule diminuent en fréquence. Dans le cadre de la présente expérimentation, nous n'avons pas observé de différence quant à la surveillance de l'intersection entre simple et double tâche pour les conducteurs novices. Ce résultat pourrait être lié à la manière de prendre de l'information des conducteurs novices qui est plus « rigide » (Falkmer & Gregersen 2001) et donc plus moins modifiée en situations nouvelles. Nos résultats peuvent être rapprochés de ceux de Chapman et al. (2002) qui ont montré que les caractéristiques des stratégies visuelles des conducteurs novices illustrent leur incapacité à s'adapter aux fluctuations des situations. En effet, lorsqu'ils évoluent dans un environnement non familier et/ou complexe, ils sont incapables d'accorder la quantité de ressources nécessaires à l'exploration de la scène routière pour prélever les informations pertinentes.

Nous pouvons, de plus, nous interroger sur notre mode d'analyse. En effet, le fait de considérer comme correcte la surveillance de l'intersection, même lorsqu'elle est

tardive, pourrait expliquer cette absence de différence chez les conducteurs novices, étant donné qu'ils ont pu observer l'intersection lorsque celle-ci a commencé à faire partie de l'environnement proche.

Au niveau de la communication entre usagers

Concernant la qualité de la communication entre les usagers, bien qu'aucune différence ne soit significative, on peut tout de même noter une augmentation des erreurs de communication¹³ en situation de double tâche. Lors de la conversation téléphonique, le traitement de l'ensemble des informations est perturbé. La sous-tâche de l'activité de conduite que représente la mise des clignotants est relayée au second plan. Inconsciemment ou non, les conducteurs semblent privilégier les autres sous-tâches de l'activité de conduite et la prise de décision relative à la mise des clignotants est différée.

Niveaux hiérarchiques de l'activité de conduite (Michon, 1985)

Pour faire parler les items identifiés dans la grille d'analyse du comportement, nous les avons regroupées d'après le modèle de Michon (1985) afin de vérifier l'impact de la conversation téléphonique selon deux niveaux hiérarchiques de l'activité de conduite : les niveaux tactique et opérationnel (Michon, 1985).

L'analyse globale révèle un impact de la conversation téléphonique au niveau tactique qui se traduit par une qualité moindre de la recherche d'informations et par une baisse de la qualité des jugements effectués. Cela suggère que la conversation téléphonique rend difficile la compréhension des situations dans lesquelles les conducteurs évoluent. La qualité du traitement des informations prélevées au niveau des rétropiseurs et au niveau de la zone proche de l'intersection est amoindrie et les prises de décisions en sont affectées. Les tâches nécessitant un contrôle cognitif et par conséquent une importante quantité de ressources attentionnelles sont mis à défaut. En revanche, les tâches effectuées automatiquement et demandant peu de contrôle attentionnel ne semblent pas perturbées par la conversation téléphonique. Cela confirme les données de la littérature et met en avant le fait que la réalisation de la tâche ajoutée entre en concurrence avec l'activité de conduite à un haut niveau de traitement des informations.

Nous avions également émis l'hypothèse selon laquelle on observerait un effet de l'expérience de conduite aussi bien au niveau tactique qu'au niveau opérationnel avec de meilleures performances pour les conducteurs expérimentés. Ces résultats seraient visibles aussi bien en situation de simple tâche et de double tâche. Nos données nous permettent de valider partiellement cette hypothèse. Nous avons relevé un effet d'expérience au niveau opérationnel contrairement aux données de la littérature selon laquelle l'inexpérience des conducteurs novices a été démontrée aussi bien au niveau tactique qu'au niveau opérationnel (Matthews & Mouran, 1986). Cela peut s'expliquer par le fait que nous avions fait évoluer les conducteurs dans des situations complexes de conduite (manœuvre de franchissement d'intersections et utilisation d'un système de navigation). En effet, dans une telle situation la plus grande des difficultés des conducteurs novices reste le contrôle du véhicule. De fait les sous-tâches de l'activité de conduite que l'on opère ultérieurement de façon automatique grâce à l'acquisition de l'expérience demandent toujours autant de

¹³ On entend par communication les interactions entre usagers contenant une information et une nécessité de répondre à cette information. Pour cela, nous nous sommes basé sur la mise ou non des clignotants. Nous avons également cherché à déterminer à quel moment ils étaient enclenchés (à temps ou trop tard).

ressources attentionnelles pour ces conducteurs. La seconde partie de l'hypothèse faisant référence aux situations de double tâche est rejetée dans la mesure où la confrontation des performances des conducteurs novices avec celles des conducteurs expérimentés ne révèle aucun effet d'expérience quel que soit le niveau hiérarchique, tactique ou opérationnel.

Nous avions ensuite émis l'hypothèse selon laquelle la tâche téléphonique induirait des perturbations au niveau du traitement de l'information avec des répercussions visibles au niveau tactique, aussi bien pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés. Nos résultats montrent un impact différent de la conversation téléphonique selon les conducteurs. Pour les novices on observe bien une dégradation des performances au niveau tactique¹⁴. Matthews et Mouran (1986) ont observé que l'efficacité de ce niveau est fonction de l'expérience et par conséquent la prise de décision chez un conducteur novice est davantage susceptible d'être inappropriée. La conversation téléphonique amplifie cette inefficacité. Les ressources cognitives des conducteurs novices sont assujetties au contrôle du véhicule (changement de voie et direction du volant) et par conséquent il ne reste plus assez de ressources disponibles pour balayer la scène routière et prélever de nouvelles informations concernant les risques potentiels. De plus, le traitement des informations perçues n'est pas totalement pertinent et par conséquent les effets d'une tâche ajoutée accentuent ce phénomène.

Concernant les conducteurs expérimentés, l'impact de la conversation téléphonique est visible au niveau opérationnel. En situation de double tâche, les conducteurs expérimentés montrent des difficultés au niveau final de la chaîne du traitement de l'information. Les analyses nous ont montré que la compréhension de la situation n'est pas dégradée puisqu'il n'y a pas de différence significative entre les situations de simple tâche et de double tâche au niveau tactique. En revanche, des erreurs dans la réalisation des sous-tâches élémentaires de contrôle de l'activité de conduite ainsi que dans le contrôle des actions ont été observées. Cela peut mettre en évidence l'impact de la conversation téléphonique sur les activités surprises et basées sur l'automatisation. Les schémas habituellement mis en place lors de situations déjà rencontrées sont mis à défaut. Les automatismes sont « défait » ou ne sont plus adaptés. Cela augmenterait le nombre des erreurs, entraînant notamment des « précipitations¹⁵ » et des « freinages intempestifs¹⁶ », caractéristiques d'un schéma de conduite inapproprié à la situation et d'une difficulté pour exécuter les actions adéquates. Ils sembleraient aussi que les experts ne gèrent pas les informations dès qu'ils les perçoivent, à savoir dès le début de l'intersection. Ils se basent sur un modèle mental perturbé par la double tâche qui induit des actions de dernières minutes. Ce sont ces décisions immédiates et spontanées qui traduisent ce problème d'exécution de l'action et qui augmentent le taux global d'erreurs de ces conducteurs.

Configurations routières (TAG, TAD)

¹⁴ Relever avec les variables identifiant la qualité de la perception, la qualité des jugements effectués grâce (le respect de la signalisation, les hésitations et les moments choisis pour communiquer les intentions de tourner par le biais de la mise des clignotants).

¹⁵ Les précipitations font référence aux situations où le conducteur franchi l'intersection de manière précipitée, qu'un véhicule soit présent ou non. Cela traduit un effet de stress potentiellement lié à la gestion simultanée de plusieurs sources d'information.

¹⁶ Il s'agissait de repérer les situations où le conducteur était amené à freiner brusquement dès l'amorce de l'intersection signifiant une mauvaise compréhension de l'itinéraire à suivre, un comportement hésitant. Le freinage peut également avoir lieu au centre de l'intersection, si le conducteur est surpris par un événement ou s'il n'arrive pas à gérer l'ensemble des informations et, par conséquent, ralentit la dynamique du véhicule.

Une dernière analyse nous a permis de relever l'impact de la conversation téléphonique selon le type de configuration routière rencontrée. Plus la configuration routière est complexe et plus l'impact de la conversation téléphonique est important et global. Les contraintes imposées par l'environnement routier avec son trafic et ses règles de conduite ne doivent pas être négligées. A ce titre, nous avions identifié deux types de configurations routières, des « tourne à gauche » (TAG) et des « tourne à droite » (TAD). La gestion des TAG reste toutefois plus complexe que celles des TAD en raison notamment du flux de véhicules en sens inverses qu'il faut prendre en compte pour effectuer la manœuvre. Lors de franchissement de TAG, les niveaux tactique et opérationnel sont mis à défauts par la conversation téléphonique. En revanche, nous n'avons pas constaté de différence significative lors du franchissement de TAD, selon le niveau hiérarchique.

En accord avec nos attentes et avec la littérature, la conversation téléphonique dégrade encore plus les performances de conduite lors de situations complexes telles que le franchissement de TAG. Lorsqu'un conducteur doit gérer une situation routière complexe qui requiert le traitement de différentes informations, la perturbation est plus importante et les performances décroissent. Ce qui est essentiellement visible au niveau de la prise d'information où les dégradations sont significatives lors de la conversation téléphonique.

Lorsqu'un conducteur franchit une intersection pour laquelle la demande attentionnelle est moindre et la manœuvre à effectuer plus « simple », l'effet du téléphone portable est moindre. Ces situations nécessitant moins d'attention, il y a moins de concurrence entre les ressources attentionnelles et peu de dégradation des performances sont observées. Nous pouvons ainsi mettre en évidence une certaine hiérarchie dans les effets du téléphone au volant.

VI/ Expérimentation 2

L'objet de cette seconde expérimentation était de compléter les résultats obtenus lors de la première expérimentation. Pour cela, il s'agira de vérifier l'impact des situations d'attention partagée sur les modalités de recherche et de prise d'informations selon que le conducteur soit novice ou expérimenté.

6-1/ Participants

Trente deux sujets ont été recrutés pour les besoins de l'expérimentation et répartis en deux groupes de seize sujets: un groupe constitué de jeunes conducteurs novices et un groupe de conducteurs expérimentés. La parité homme-femme a été respectée dans les deux groupes. Les jeunes conducteurs novices étaient âgés de 18 à 20 ans (moyenne d'âge 19.31 ; écart type 0.95) avec une expérience de conduite inférieure à 10 mois. Les conducteurs expérimentés étaient âgés de 30 à 43 ans (moyenne âge 35.53, écart type 3.56). Ces conducteurs parcouraient au minimum 10 000 kilomètres par an et possédaient un véhicule personnel depuis plus de dix ans.

6-2/ Matériel

Cette expérimentation a été réalisée en laboratoire afin de mieux contrôler les différentes variables étudiées, tout en s'assurant d'une homogénéité des conditions de passation pour tous les sujets. Un support vidéographique a permis de diffuser plusieurs séquences à chaque conducteur. La projection des séquences vidéographiques a été effectuée à l'aide d'un écran plasma installé de manière à ce que le sujet ait une vision globale de la scène routière (photo 4).



Photo 4: Visualisation de la passation de l'expérimentation

Source : Production propre

Un lecteur DVD a été utilisé pour lancer les séquences vidéos. Nous avons également ajouté une bande son aux vidéos afin d'immerger totalement le participant dans la tâche principale de conduite. Les sons restituaient le bruit des véhicules apparents à l'écran en fonction des dépassements ou des décélérations à l'approche de l'intersection.

Les pistes audio utilisées pour la situation de double tâche ont été émises via un ordinateur portable. Des haut-parleurs ont été utilisés afin d'avoir un volume sonore convenable. Le détail de l'exercice demandé lors de la situation de double tâche est explicité au paragraphe 6-3-3.

L'expérimentation a eu lieu dans les locaux de l'INRETS où une salle a spécialement été aménagée. Après avoir accueilli un participant, l'expérimentateur rappelait les objectifs de l'expérimentation et les consignes concernant le déroulement de celle-ci.

6-3/ Tâche

6-3-1/ Tâche principale

Trente deux séquences vidéographiques de scènes routières ont été préparées pour les besoins de l'expérimentation. Les vidéographies, d'une durée variable de vingt secondes

à quarante cinq secondes, représentaient la scène routière comme si le conducteur était installé à son poste de conduite. Chacune de ces séquences se terminaient par une arrivée sur une intersection. Toutes les intersections choisies étaient de type « tourne à gauche » (TAG). Ainsi, la consigne donnée aux participants était de visionner les différentes séquences proposées et de décider s'ils pouvaient ou non franchir l'intersection. Au moment de prendre cette décision, l'image se figeait pendant 1,5 secondes avant l'apparition d'un écran noir qui déterminait le moment où le participant commençait à répondre aux questions.

Le choix des séquences vidéographiques a été effectué selon le type de configuration routière, selon les aménagements et selon la présence ou non de véhicules à prendre en compte dans la gestion de la manœuvre de franchissement d'intersection.

Trente deux intersections réparties en deux groupes de seize intersections (seize en forme de « T » et seize autres en forme de « X ») ont été prévu.

Chaque groupe de seize intersections était lui-même divisé en deux groupes d'intersections présentant, ou non, un ou plusieurs véhicules en sens inverse pouvant interférer dans la manœuvre de franchissement d'intersection. Nous avons ainsi identifié les situations dites « go » dans lesquelles aucun véhicule n'était présent. Le conducteur pouvait franchir l'intersection sans problème et sans devoir marquer l'arrêt avant de passer. Nous avons également identifié des situations où un ou plusieurs véhicules arrivaient en sens inverse et contraignaient le conducteur à s'arrêter avant de franchir l'intersection. Nous avons appelé ces situations « no go ». Pour cette raison, nous avons sélectionné les intersections de sorte à ce qu'elles soient appareillées deux à deux : lorsqu'un conducteur franchissait une intersection en situation de « go », automatiquement il franchira l'intersection appariée en situation de « no go ».

Pour terminer, chacun de ces groupes de huit intersections était composé de quatre sous groupes de deux intersections (tableau 11).

Ces sous groupes apportaient une caractéristique supplémentaire :

- si l'intersection était principalement aménagée par un terre-plein et un zébra (photo 5).



Photo 5: Intersection aménagée par un terre-plein et un zébra

Source : Production propre

- si l'intersection était aménagée par marquage au sol principalement composé de zébra (photo 6).



Photo 6: Intersection aménagée par un zébra

Source : Production propre

- si l'intersection présentait une difficulté particulière (par exemple qu'elle soit tardivement perceptible)
- si l'intersection était peu aménagée (par exemple, avec simplement des balises et un marquage au sol matérialisé par une ligne continue ou discontinue (photo 7).



Photo 7: Intersection peu aménagée

Source : Production propre

Le tableau 11 illustre la répartition des intersections.

32 intersections	16 « X »	8 « go »	Terre-plein	
		8 « no go »	Marquage au sol	
	16 « T »	8 « go »	Difficulté particulière	
		8 « no go »	Peu aménagée	
Terre-plein		Terre-plein		
Marquage au sol		Marquage au sol		
Difficulté particulière		Difficulté particulière		
Peu aménagée		Peu aménagée		
Terre-plein		Terre-plein		
Marquage au sol		Marquage au sol		
Difficulté particulière		Difficulté particulière		
Peu aménagée		Peu aménagée		

Tableau 11: Répartition des intersections en fonction des critères choisis

L'ensemble de ces intersections regroupe différents éléments référant à l'ensemble des caractéristiques de l'intersection, à savoir les éléments présents au centre de l'intersection, les éléments présents dans les voies adjacentes du point central de l'intersection et les usagers présents (tableau 12). Nous procéderons à une présentation générale des éléments sans distinction d'appartenance à tel ou tel type d'intersection. Les items listés ne sont pas tous présents pour chacune des intersections.

Un premier groupe d'éléments correspond aux éléments présents au centre de l'intersection :

- *Pré-signalisation d'intersection* : panneau de forme triangulaire (rouge, blanc et flèche noire) positionné en amont et destiné à indiquer l'intersection à venir.

- *Autre pré-signalisation* : se sont toutes les autres informations positionnées avant l'intersection et donnant des informations diverses au conducteur.
- *Terre-plein / zébra (central)* : correspondent aux aménagements installés au centre de l'intersection et facilitant le positionnement pour le conducteur qui doit franchir l'intersection.
- *Flèches directionnelles au sol* : correspondent aux flèches au sol permettant au conducteur de se positionner correctement dans la voie de tourne à gauche.
- *Pré-signalisation direction* : panneaux positionnés avant l'intersection et indiquant les différentes directions de l'intersection.
- *Panneaux bleu d'obligation* : il s'agit des panneaux à fond bleu avec une flèche à l'intérieur indiquant au sujet où se positionner pour la manœuvre de tourne à gauche.
- *Panneaux direction droite* : correspondent aux panneaux présents au centre de l'intersection et donnant différentes directions. Ces panneaux sont positionnés sur le côté droit de l'intersection.
- *Autres panneaux de signalisation* : ce sont tous les autres panneaux présents dans l'intersection tels que « interdit 3,5 t ».
- *Ligne au sol* : correspond à la ligne au sol, quelle soit continue ou discontinue.
- Un second groupe d'éléments fait référence aux caractéristiques des voies adjacentes :
- *Voie de tourne à gauche* : correspond à la voie, matérialisée soit par un marquage au sol soit par un terre-plein, permettant à un usager de se préparer à la manœuvre de franchissement d'intersection.
- *Balise(s) gauche* : correspondent aux balises blanches et rouges indiquant la présence d'une intersection et situées sur le côté gauche de l'intersection. Leur nombre varie de une à deux (dans le cas des intersections comportant seulement un marquage au sol).
- *Balise(s) droite* : correspondent aux balises blanches et rouges indiquant la présence d'une intersection et situées sur le côté droit de l'intersection. Leur nombre varie de une à deux.
- *Panneaux « cédez le passage » / « stop » gauche* : correspondent aux panneaux de signalisation « cédez le passage » et « stop » placés sur la branche de gauche de l'intersection.
- *Panneaux cédez le passage / stop droite* : correspondent aux panneaux de signalisation « cédez le passage » et « stop » placés sur la branche de droite de l'intersection (seulement lorsqu'il s'agit d'une intersection en forme de « X »)
- *Marquage au sol cédez le passage / stop gauche* : correspondent à la signalisation routière matérialisée par un marquage au sol de type « cédez le passage » ou « stop » situé sur la branche gauche de l'intersection.
- *Marquage au sol cédez le passage / stop droite* : correspondent à la signalisation routière matérialisée par un marquage au sol de type « cédez le passage » ou « stop » situé sur la branche de droite de l'intersection (seulement lorsqu'il s'agit d'une intersection en forme de « X »).
- *Terre plein gauche* : correspond au terre plein aménagé dans la branche de gauche de l'intersection et délimitant les voies.

Un dernier groupe d'items fait référence à la présence d'usagers dans et avant l'intersection :

- *Usager(s) en face* : se sont tous les usagers présents en sens inverse, aussi bien un véhicule qu'un deux-roues, que le conducteur doit prendre en compte pour sa décision de franchir ou non l'intersection.

- *Usager(s) à gauche* : réfère aux usagers, véhicules ou deux-roues, présents dans la voie de gauche de l'intersection
- *Usager(s) à droite* : réfère aux usagers, véhicules ou deux-roues, présents dans la voie de droite de l'intersection (exclusivement lorsqu'il s'agit d'une intersection en forme de « X »).
- *Usager(s) devant* : réfère aux véhicules précédant le véhicule du participant.

Tableau 12: Répartition des éléments présents dans les intersections selon qu'ils correspondent à des éléments au centre de l'intersection, dans les voies adjacentes ou qu'il s'agisse d'usagers

ELEMENTS CENTRAUX	ELEMENTS VOIES ADJACENTES	USAGERS
Pré-signalisation d'intersection	Voie de tourne à gauche	Usager(s) en face
Pré-signalisation autres	Balise(s) gauche	Usager(s) à gauche
Terre-plein / zébra (central)	Balise(s) droite	Usager(s) à droite
Flèches directionnelles au sol	Panneaux « cédez le passage / stop » à gauche	Usager(s) devant
Pré-signalisation direction	Panneaux « cédez le passage / stop » à droite	
Panneaux bleu d'obligation	Marquage au sol « cédez le passage / stop » à gauche	
Panneaux direction droite	Marquage au sol « cédez le passage / stop » à droite	
Autres panneaux de signalisation	Terre-plein gauche	
Ligne avant		

6-3-2/ Tâche de report d'éléments

Huit croquis vierges d'intersections ont été préparés pour que les sujets puissent répondre aux questions données lors de l'expérimentation. Les huit croquis, représentés sous forme de schéma, ont été proposés sur une même planche de format A4 (figure 28). Les sujets avaient pour consigne de choisir le croquis qu'ils jugeaient le plus ressemblant à l'intersection qu'ils venaient de voir. Un croquis vierge correspondant leur était proposé sur lequel ils devaient dessiner ou écrire les éléments vus et/ou jugés pertinents pour la décision de tourner à gauche.

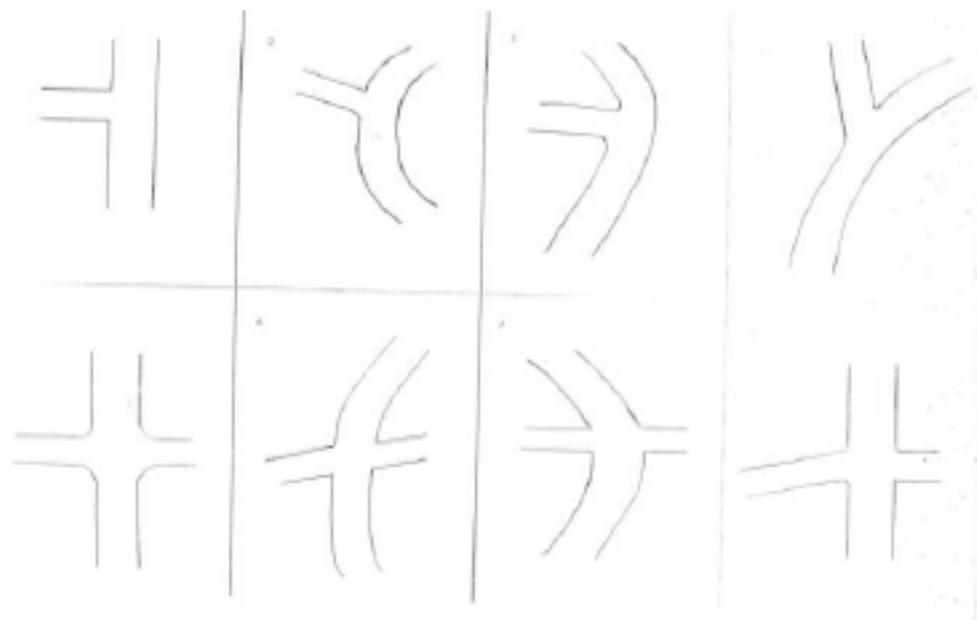


Figure 28: Plaquette proposée au sujet, regroupant les huit croquis présentés

Ils devaient également inscrire les éléments qui leur avaient permis de repérer la présence de l'intersection et de comprendre le fonctionnement de l'intersection (figure 29 et figure 30).

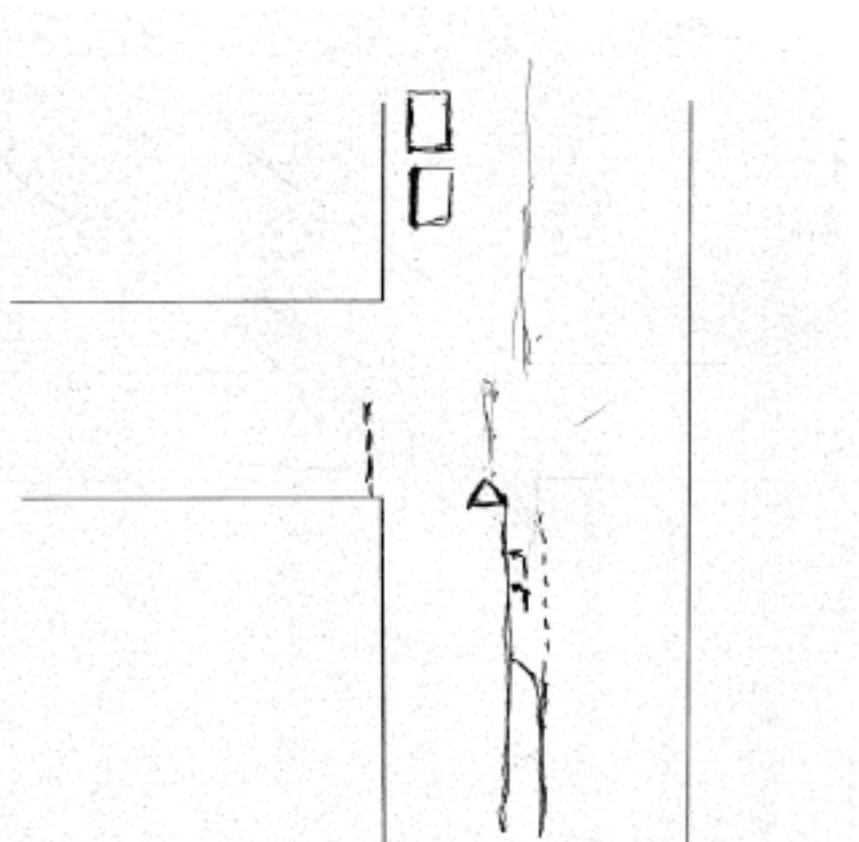


Figure 29: Exemple de croquis rempli par un sujet (l'intersection est en forme de T)

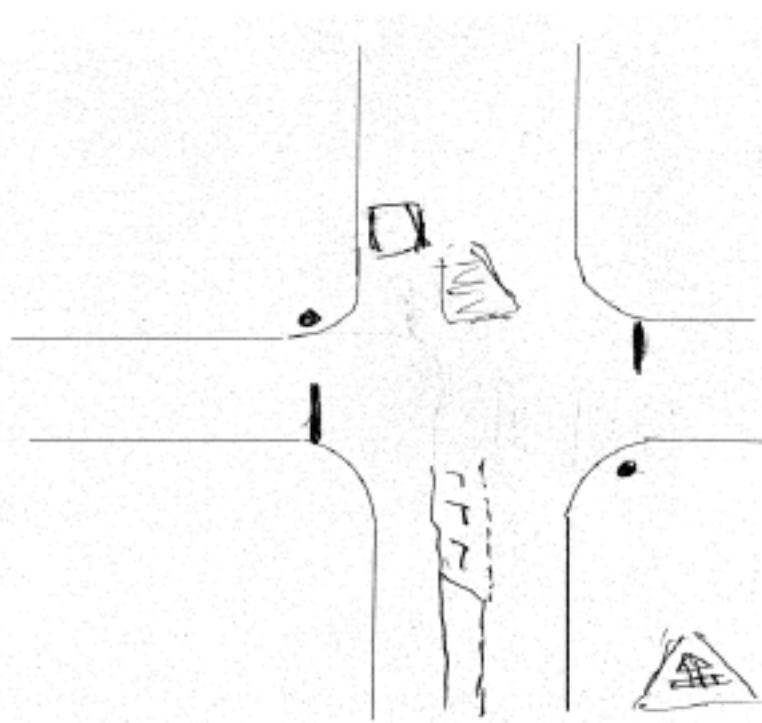


Figure 30: Exemple de croquis rempli par un sujet (l'intersection est en forme de X)

6-3-3/ Tâche ajoutée auditive

Pour placer le participant en situation de double tâche, nous avons préparé un exercice de détection d'intrus. Des « devinettes » ont été proposées oralement aux sujets. Pour chacune des « devinettes » quatre mots puis le nom d'une catégorie étaient donnés. Trois de ces mots étaient liés à la catégorie proposée, chaque liste comportant un intrus. Par exemple, « Pistolet, épée, mitrailleuse, fusil » pour la catégorie « arme à feu ». Dans cet exemple, le conducteur devait dire le mot « épée ».

Pour que la durée de l'exercice soit égale ou supérieure au temps de la séquence vidéo diffusée et que le sujet reste en situation de double tâche tout au long de la vidéo, nous avons préparé seize groupes de quatre devinettes.

Tous les mots nécessaires à la réalisation de la double tâche ont été préenregistrés par un comédien afin d'avoir un débit de présentation régulier et identique pour l'ensemble des sujets. Les mots étaient diffusés toutes les deux secondes et nous avons retenu un laps de temps égal à cinq secondes entre chaque devinette.

Les pistes audio étaient systématiquement diffusées selon le même ordre. L'ordre aléatoire de présentation des séquences vidéo a permis d'alterner les pistes selon les séquences et d'éviter ainsi d'avoir toujours les mêmes pistes audio associées aux mêmes séquences vidéo.

6-3-4/ Déroulement

Phase de familiarisation

Avant de démarrer l'expérimentation, une phase de familiarisation était proposée afin que les sujets intègrent les objectifs à atteindre et les consignes à suivre. Cette phase visait également à les entraîner pour l'exercice de la tâche auditive. Au cours de cette phase de familiarisation, le principe de la tâche auditive était expliqué aux participants puis six séquences vidéos leur étaient présentées. La moitié de ces séquences étaient visionnées en situation de simple tâche et l'autre moitié en situation de double tâche.

Expérimentation

Nous avons créé un ordre aléatoire pour que chaque sujet ait son propre ordre de diffusion. Il a également fallu contrebancer les séquences diffusées en situation de simple tâche et celles diffusées en situation de double tâche. Pour cela, deux groupes d'intersections ont été identifiés (groupe A et groupe B). Lorsqu'un sujet visionnait les séquences de l'un des groupes en situation de simple tâche, il visionnait automatiquement les séquences de l'autre groupe en situation de double tâche. Puis inversement, le sujet suivant visionnait les séquences du premier groupe en situation de double tâche et celles du second groupe en situation de simple tâche.

Selon l'ordre de diffusion des séquences et le choix de passation en situation de simple tâche et de double tâche, nous avons, pour chacun des sujets, fait défiler les séquences les unes à la suite des autres avec un arrêt entre deux diffusions afin que le conducteur puisse répondre aux questions demandées. Chacune des séquences s'arrêtait au moment de prendre la décision de franchir ou non l'intersection. Par la suite les croquis vierges ont été proposés aux sujets afin qu'ils puissent répondre à la tâche demandée (cf. 6-3-2).

6-4/ Recueil des données et analyses

6-4-1/ Variables

6-4-1-1/ Variables indépendantes

- Configuration routière, carrefour en forme de « X » ou en forme de « T »
- Condition sans tâche auditive - condition avec tâche auditive
- Expérience de conduite, conducteurs novices et conducteurs expérimentés

6-4-1-2/ Variables dépendantes

- Réponse des sujets (au travers des dessins effectués)

6-4-2/ Analyses

6-4-2-1/ Questionnaire

Les caractéristiques des sujets ont été également recueillies, ainsi que leur ressenti de l'expérimentation au moyen d'un questionnaire. La première partie de ce questionnaire s'intéressait aux habitudes de conduite des participants (année d'obtention du permis

125

de conduire, fréquence d'utilisation de leur véhicule, kilomètres annuels parcourus environnement routier fréquenté habituellement) et à leurs habitudes du téléphone portable au volant (fréquence d'utilisation, usage ou non d'un kit mains libres, réponse systématique aux appels entrants, habitude de passer des appels). La seconde partie, en fin d'expérimentation, s'est focalisée sur la situation de double tâche afin de recueillir le ressenti des sujets face à cette situation ainsi que sur leur conscience des difficultés engendrées par la gestion de la tâche ajoutée. Enfin, pour caractériser la recherche d'informations des conducteurs d'une manière subjective, nous leur avons demandé sur quels éléments ils se focalisaient pour franchir une intersection de type « tourne à gauche ».

6-4-2-2/ Grille d'analyse

Pour recueillir les données, nous avons préalablement préparé une grille détaillée répertoriant les éléments présents dans chacune des intersections. Il s'agit soit d'éléments fixes de l'intersection tels que les panneaux de signalisation (par exemple, un panneau stop sur le côté droit ou gauche de l'intersection), soit, il s'agit d'éléments temporairement présents, tels que les usagers sur la chaussée. A partir de l'ensemble des items présents dans notre grille (cf. 6-2-1 et tableau 12), nous avons procédé à plusieurs regroupements afin de répondre à nos hypothèses opérationnelles. Les regroupements correspondent ainsi soit aux éléments pertinents opposés aux éléments secondaires, soit aux éléments présents dans les zones lointaines (zones périphérique) opposés à ceux qui sont présents dans les zones proches du véhicule.

Pour vérifier notre première hypothèse à savoir si les conducteurs novices rapporteraient davantage d'éléments dits secondaires alors que les conducteurs expérimentés se focaliseraient sur les éléments pertinents de la signalisation, nous avons cherché si la recherche d'information des conducteurs était effectuée de manière aléatoire et désorganisée ou bien si elle relevait de règles bien particulières. Pour cela, les items ont été repartis en deux groupes, les informations que nous avons considéré comme pertinentes et celles que nous avons considérées comme secondaires pour la manœuvre de tourne à gauche. Nous avons répertorié en tant qu'éléments pertinents ceux qui permettent d'identifier la présence de l'intersection (par exemple la présence des balises, panneau de pré-signalisation d'intersection), ceux qui sont nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'intersection (panneau stop ou cédez le passage), ainsi que la présence ou l'absence de véhicules. Les éléments secondaires correspondent aux éléments qui n'apportent pas d'informations essentielles à la prise de décision de franchir ou non l'intersection.

Le tableau 13 récapitule les différents items selon qu'ils correspondent à des éléments pertinents ou à des éléments secondaires.

Tableau 13: Répartition des éléments selon qu'il s'agisse d'éléments pertinents ou d'éléments secondaires

ELEMENTS PERTINENTS	ELEMENTS SECONDAIRES
Pré-signalisation d'intersection	Autres pré-signalisation
Voie de tourne à gauche	Terre plein – zébra
Balise(s) à gauche	Flèches directionnelles au sol
Balise(s) à droite	Terre-plein gauche
Panneau cédez le passage/stop à gauche	Pré-signalisation de direction
Panneau cédez le passage/stop à droite	Panneaux de direction à gauche
Marquage au sol cédez le passage/stop à gauche	Panneaux de direction à droite
Marquage au sol cédez le passage/stop à droite	Autres panneaux de signalisation
Véhicule(s) en face	Ligne au sol
Véhicule(s) à droite	
Véhicule(s) à gauche	
Véhicule(s) devant	

Dans un second temps, nous avons regroupé les items pour tester notre seconde hypothèse. Il s'agissait de vérifier si les conducteurs novices rapporteraient moins d'éléments lointains en raison de leur balayage inefficace de la scène routière et de leur tendance à regarder droit devant occultant ainsi les zones périphériques.

Deux regroupements ont été définis afin de caractériser les zones de recherches d'informations proches du véhicule et les zones plus lointaines et périphériques (tableau 14).

Tableau 14: Répartition des éléments selon qu'ils soient situés dans des zones proches ou lointaines du véhicule

ZONES PROCHES	ZONES LOINTAINES
Terre plein – zébra	Pré-signalisation d'intersection
Flèches directionnelles au sol	Autres pré-signalisation
Voie de tourne à gauche	Pré-signalisation de direction
Panneaux bleu d'obligation	Panneaux de direction à gauche
Ligne au sol	Panneaux de direction à droite
Balise(s) à gauche	Véhicule(s) en face
Balise(s) à droite	Véhicule(s) à droite
Panneau cédez le passage/stop à gauche	Véhicule(s) à gauche
Panneau cédez le passage/stop à droite	Terre plein gauche
Marquage au sol cédez le passage/stop à gauche	
Marquage au sol cédez le passage/stop à droite	
Véhicule(s) devant	

Le traitement des données

Avant d'effectuer le traitement statistique, nous avons procédé à un codage spécifique afin d'éviter un taux d'erreurs non parlant dans certaines situations. En effet, étant donné que la quantité d'éléments aménagés est inégale selon les intersections, nous avons associé certaines variables. Cela nous a permis de rendre identique le calcul des erreurs quel que soit le type d'aménagement.

Ci-dessous sont explicitées les variables « associées » et identifiées sous la même appellation :

- Association de la variable terre-plein central et de la variable zébra : nous avons regroupé ces deux variables sous l'ensemble « terre-plein zébra » en raison des deux possibilités présentent dans notre échantillon d'intersections, à savoir les intersections aménagées à la fois par un terre-plein central et un zébra (cf. figure 28) et les intersections aménagés par un zébra seul (cf. figure 29). Ainsi, partant du principe que tout élément non reporté serait considéré comme une erreur, nous aurions obtenu un taux d'erreurs potentiellement supérieur lorsque les intersections disposent d'un double aménagement (un terre-plein central et un zébra). Concrètement, le report d'aucun élément se traduirait par deux erreurs pour les intersections composées d'un terre-plein central et d'un zébra et par une erreur pour les intersections aménagées par un zébra seul. S'agissant du même type d'erreur, il était important de garder une homogénéité dans les résultats et dans la comptabilisation des erreurs et d'équilibrer les situations où la quantité des aménagements était inégale.
- Voies adjacentes : que ce soit du côté gauche ou du côté droit de l'intersection, les panneaux stop et cédez le passage ont été identifiés sous la même variable « panneau ». Nous avons considéré que le plus important pour les conducteurs était d'identifier la signalisation proposée pour les véhicules venant des branches gauche ou droite de l'intersection. Nous avons considéré qu'à partir du moment où le conducteur avait repéré un panneau (stop ou cédez le passage), il aurait compris le fonctionnement de l'intersection. Nous avons, par contre, différencié les panneaux selon leur présence à gauche ou à droite de l'intersection.
- Sur le même principe, les marquages au sol « stop » ou « cédez le passage » des voies adjacentes ont été comptabilisés ensemble et, comme précédemment, nous avons spécifié si l'élément étaient à droite ou à gauche de l'intersection. Les panneaux « stop » et « cédez le passage » ont été différenciés des marquages au sol « stop » et « cédez le passage » en raison de la possibilité pour un conducteur de se baser uniquement sur l'un ou l'autre de ces éléments.
- Concernant les intersections aménagées par une ligne au centre de la chaussée, nous n'avons pas cherché à différencier le fait que cette ligne soit continue ou discontinue. Nous avons considéré comme bonne réponse le fait qu'une ligne soit vue, le plus important étant qu'aucun autre type d'aménagement ne soit relevé.

Pour procéder à nos analyses statistiques, nous avons comptabilisé les éléments correctement rapportés et les erreurs. Notons toutefois que les erreurs correspondaient non seulement au fait que les participants n'aient pas reporté le ou les éléments attendus mais également aux situations où ils ont « inventé » la présence d'un ou plusieurs éléments. Quelle que soit l'invention, il s'agissait pour nous d'une erreur car si le conducteur semble avoir vu une information inexistante, il se peut qu'il y réagisse et que, de fait, sa réponse soit inappropriée à la situation de conduite.

Cette approche nous a permis d'analyser l'impact d'un défaut de ressources attentionnelles sur la perception d'éléments du contexte routier en situation d'attention partagée et de vérifier comment cette situation pourrait avoir un impact au niveau de la sécurité des conducteurs. Nous présenterons les résultats obtenus en fonction des regroupements effectués et des conditions de conduite (simple tâche et double tâche).

6-5/ Résultats

La distribution ne suivant pas une loi normale, les statistiques ont été effectuées au moyen du test de Wilcoxon pour l'échantillon appareillé ($N=32$), pour comparer les conditions de simple tâche et double tâche présentées à tous les sujets. Elles ont été effectuées au moyen du test de Mann et Whitney pour l'échantillon non appareillé ($N=16$), pour évaluer l'effet de l'expérience de conduite.

En fonction des regroupements d'items présentés dans la partie méthodologie, nous avons cherché à vérifier les différences selon les situations (simple tâche vs double tâche), selon le type de conducteur (novices vs expérimentés), selon le type de configuration routière (T vs X) et selon le niveau de criticité de la situation de conduite (go vs no go).

6-5-1/ Type d'information recherchée (éléments pertinents - éléments secondaires)

Nous présenterons ici une analyse ciblée sur l'impact de la situation d'attention partagée sur le type d'informations recherchées par les conducteurs, selon que celles-ci soient pertinentes ou secondaires pour la tâche de conduite.

6-5-1-1/ Situation simple tâche – situation double tâche

Comme le montre la figure 31, la comparaison des situations de simple tâche avec les situations de double tâche montre que les éléments secondaires sont significativement plus reportés en simple tâche ($n=16$, $f = 139$; $p = 0.0184$) qu'en double tâche. Il en est de même lorsqu'il s'agit d'intersections en forme de « T » ($n= 16$; $f = 109.5$; $p = 0.0068$) et lorsqu'il n'y a pas de véhicule en sens inverse c'est-à-dire les situations nommées « go » ($n=16$; $f = 109.5$; $p = 0.007$).

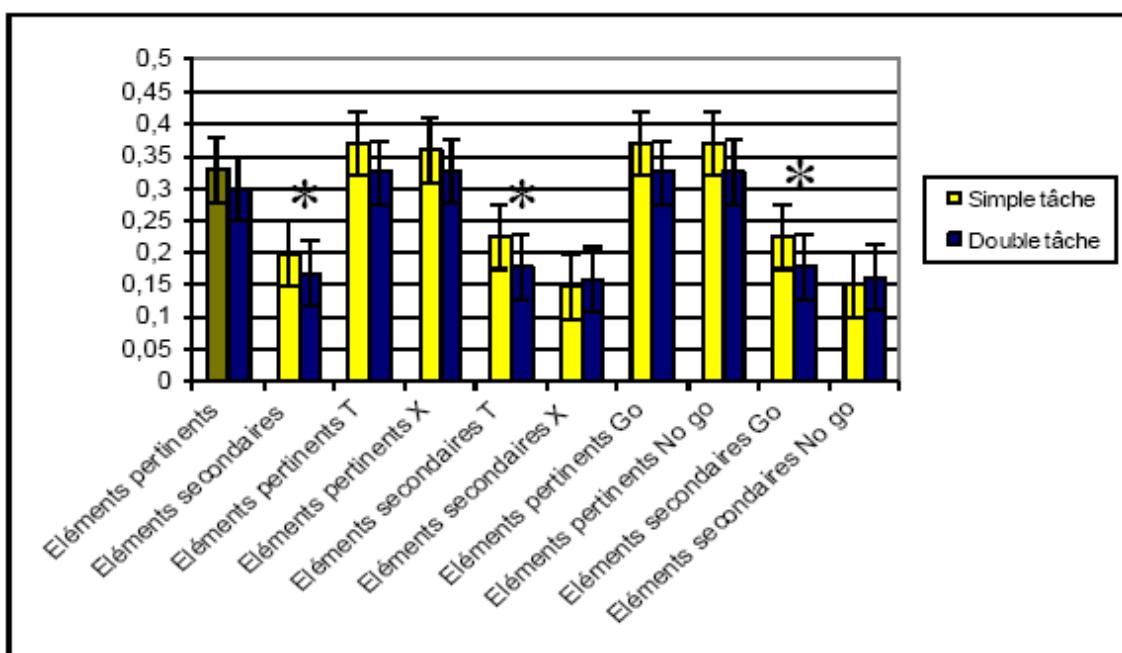


Figure 31: Nombre moyen d'éléments pertinents et secondaires reportés en simple tâche et en double tâche

6-5-1-1-1/ Caractéristiques des conducteurs

Aussi bien pour les conducteurs novices que pour les conducteurs expérimentés, il n'y a pas de différence significative concernant le report d'éléments pertinents et secondaires lorsque l'on compare les situations de simple tâche et de double tâche (figure 32).

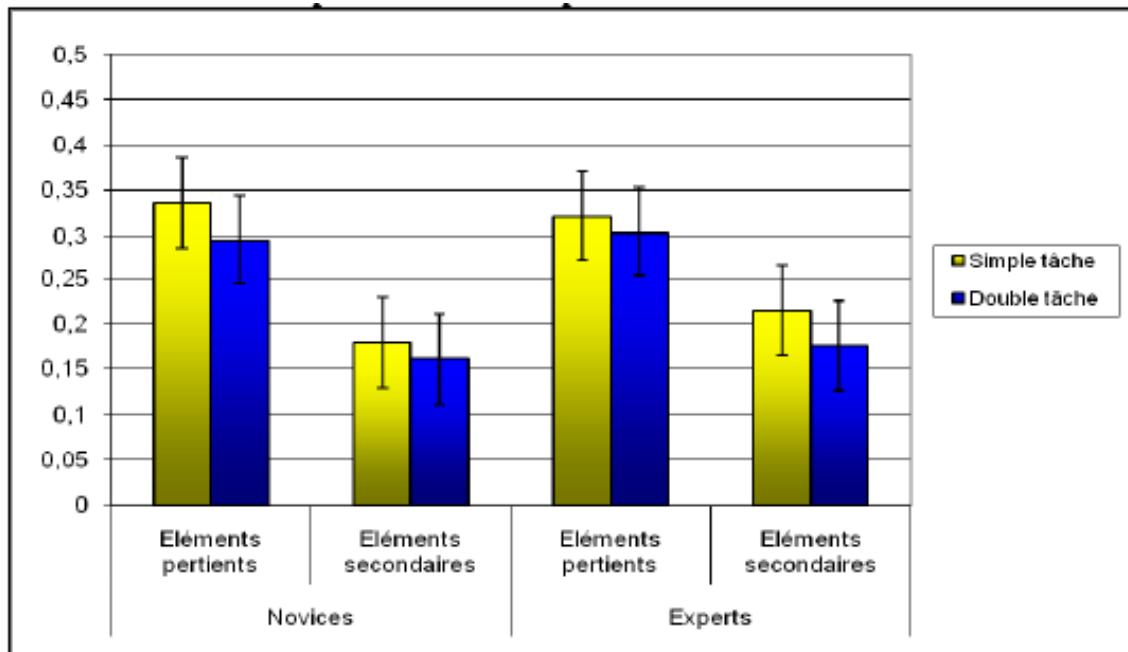


Figure 32: Nombre moyen d'éléments pertinents et secondaires reportés par les conducteurs novices et expérimentés en simple et en double tâche

6-5-1-1-2/ Configurations routières (T, X) et criticité de la situation (Go, No go)

La comparaison des éléments reportés pour les intersections en T et en X, montre un report d'éléments pertinents ($n= 16$; $f = 372$; $p = 0.0433$) et d'éléments secondaires ($n=16$; $f = 452$; $p = 0.0000667$) significativement supérieur pour les intersections en T (figure 33).

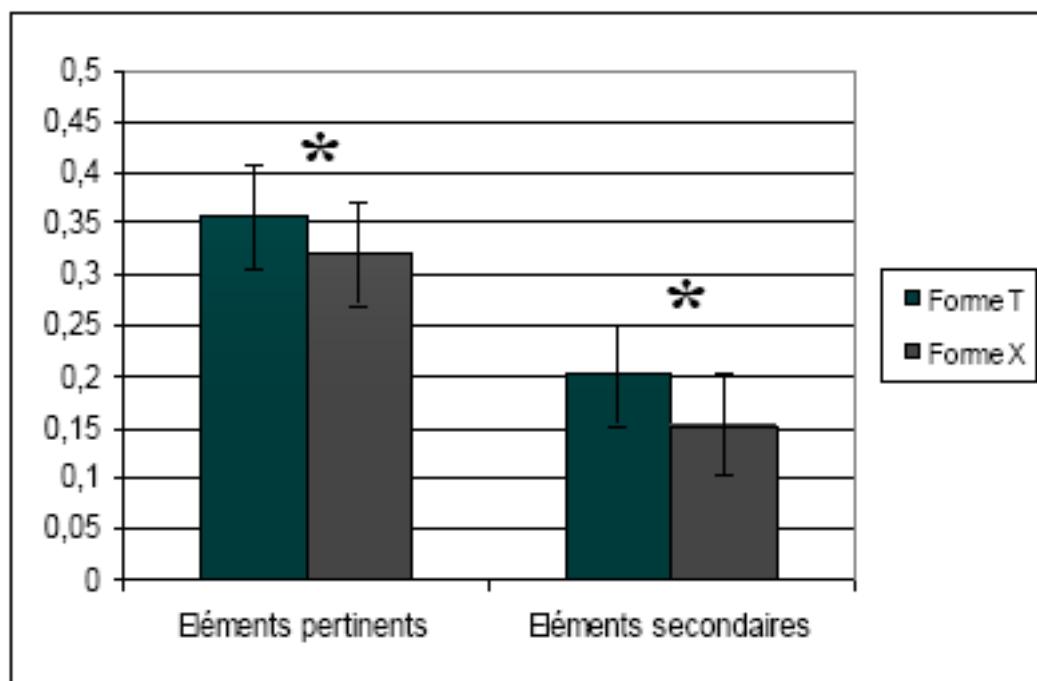


Figure 33: Nombre moyen d'éléments pertinents et secondaires reportés pour les intersections T et X

Lorsqu'il y a des véhicules en sens inverse (no go), les éléments pertinents sont significativement plus reportés ($n=16$; $f = 45$; $p = 0.00007716$) que lorsqu'il n'y a pas de véhicule en sens inverse (go) (figure 34).

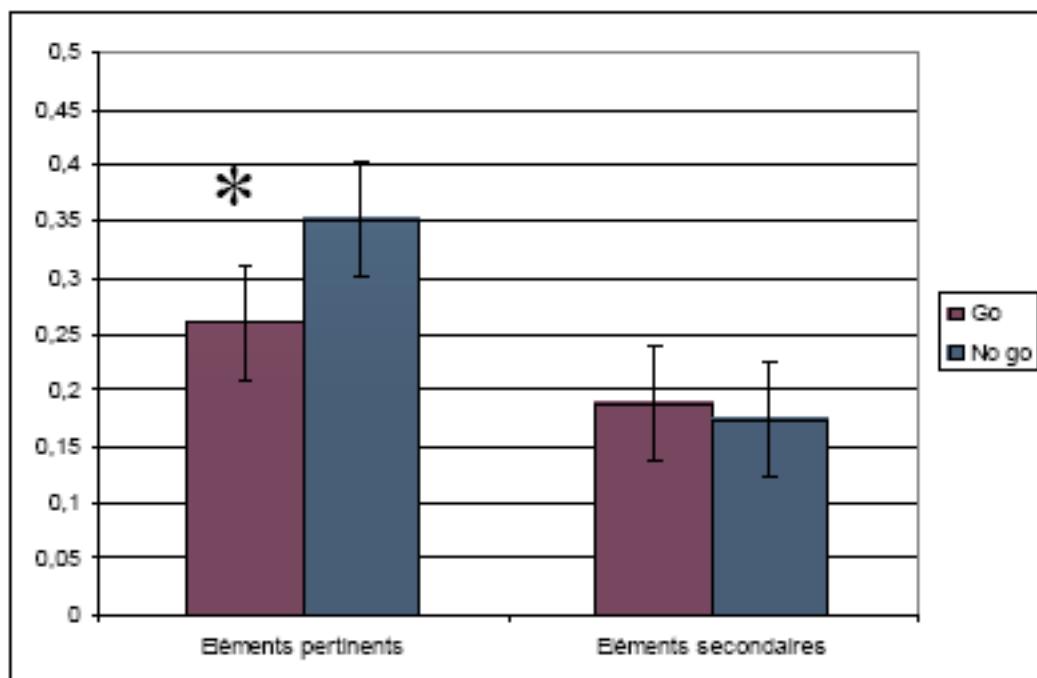


Figure 34: Nombre moyen d'éléments pertinents et secondaires reportés en go et en no go

Chez les conducteurs novices, aucune différence significative sur les éléments reportés qu'ils soient pertinents ou non n'est relevée lorsque l'on compare les situations de simple tâche avec les situations de double tâche. Ce résultat est vrai selon le type de configuration routière et selon le niveau de criticité (figure 35 et figure 36).

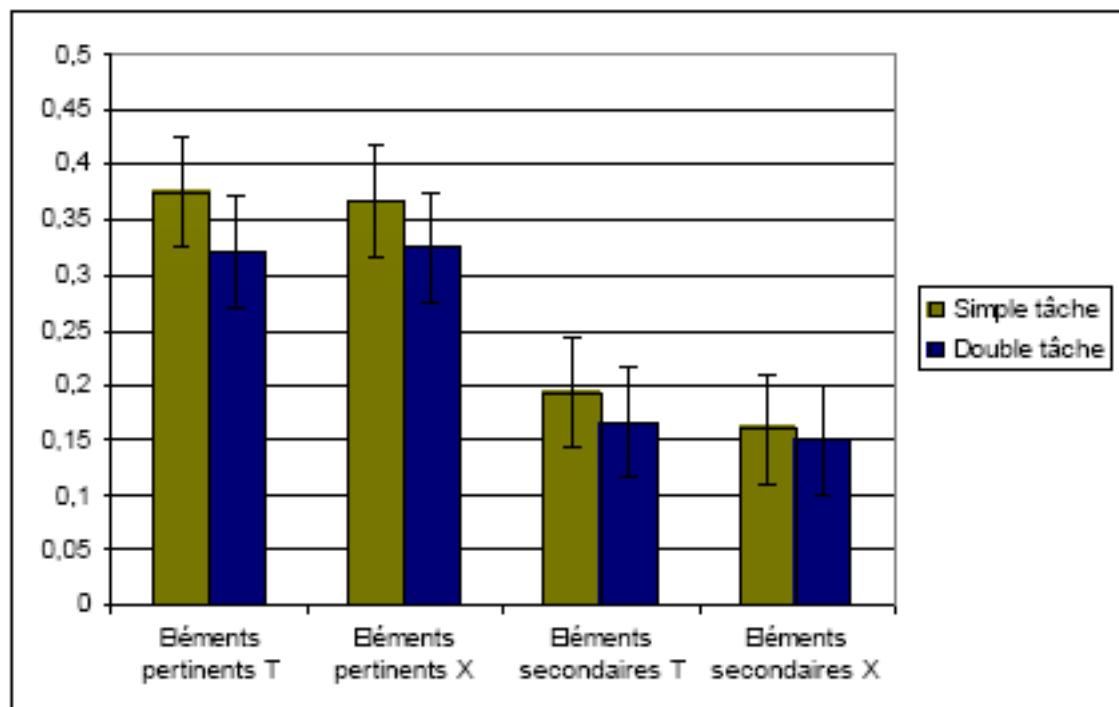


Figure 35: Nombre moyen d'éléments pertinents et secondaires reportés par les conducteurs novices en situations de simple et de double tâche (intersections T, X)

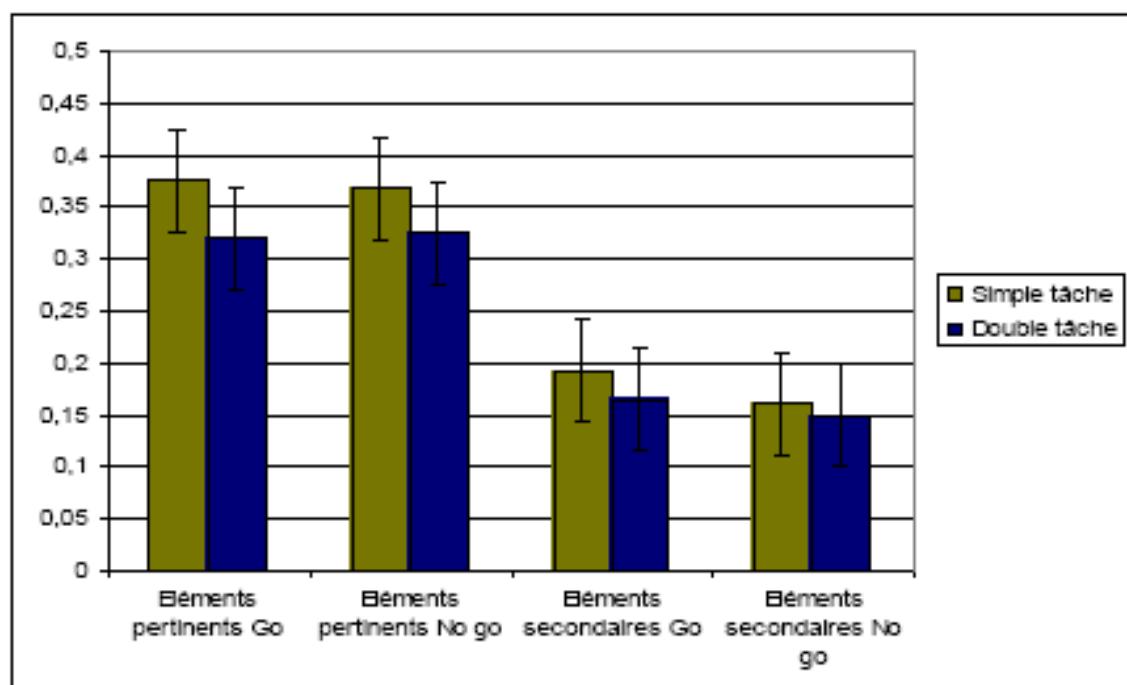


Figure 36: Nombre moyens d'éléments pertinents et secondaires reportés par les conducteurs novices en situations de simple et de double tâche (go, no go)

Par contre, les conducteurs expérimentés rapportent significativement plus d'éléments secondaires en simple tâche qu'en double tâche lorsque l'intersection est en forme de « T » (n=16 ; f= 20 ; p = 0.0249) (figure 37). Cela est également vrai lorsqu'il n'y a pas de véhicule en sens inverse (n=16 ; f= 20 ; p = 0.0249) (figure 38).

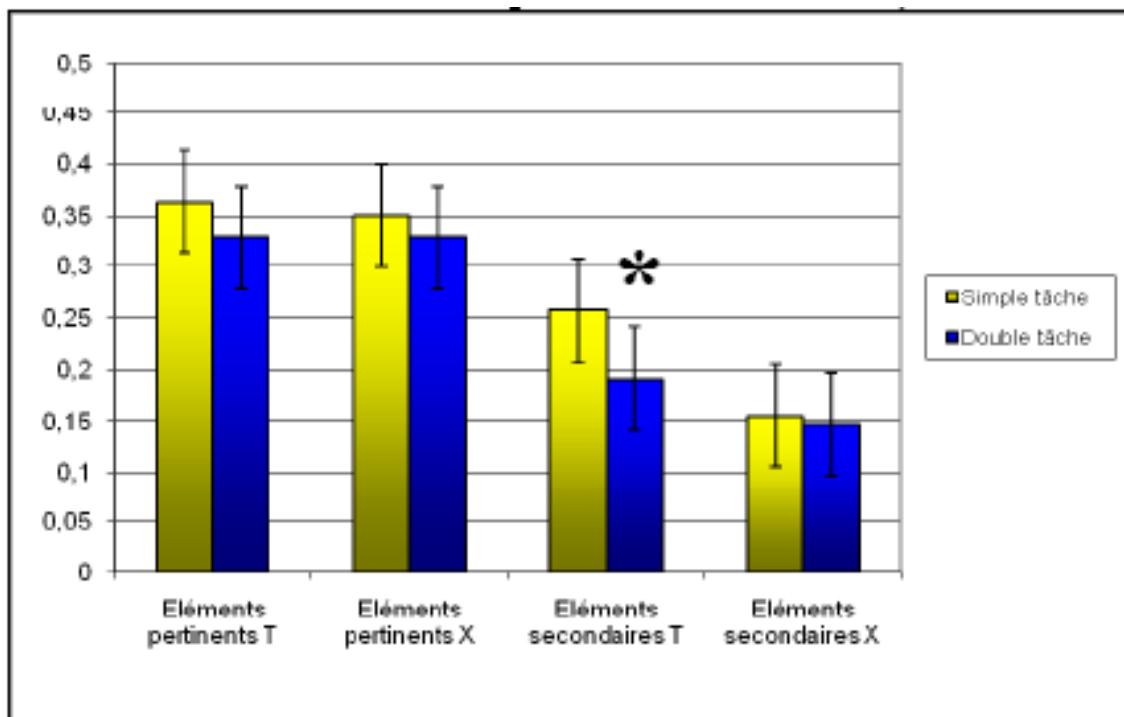


Figure 37: Nombre moyens d'éléments pertinents et secondaires reportés par les conducteurs expérimentés en situations de simple et de double tâche (intersection T, X)

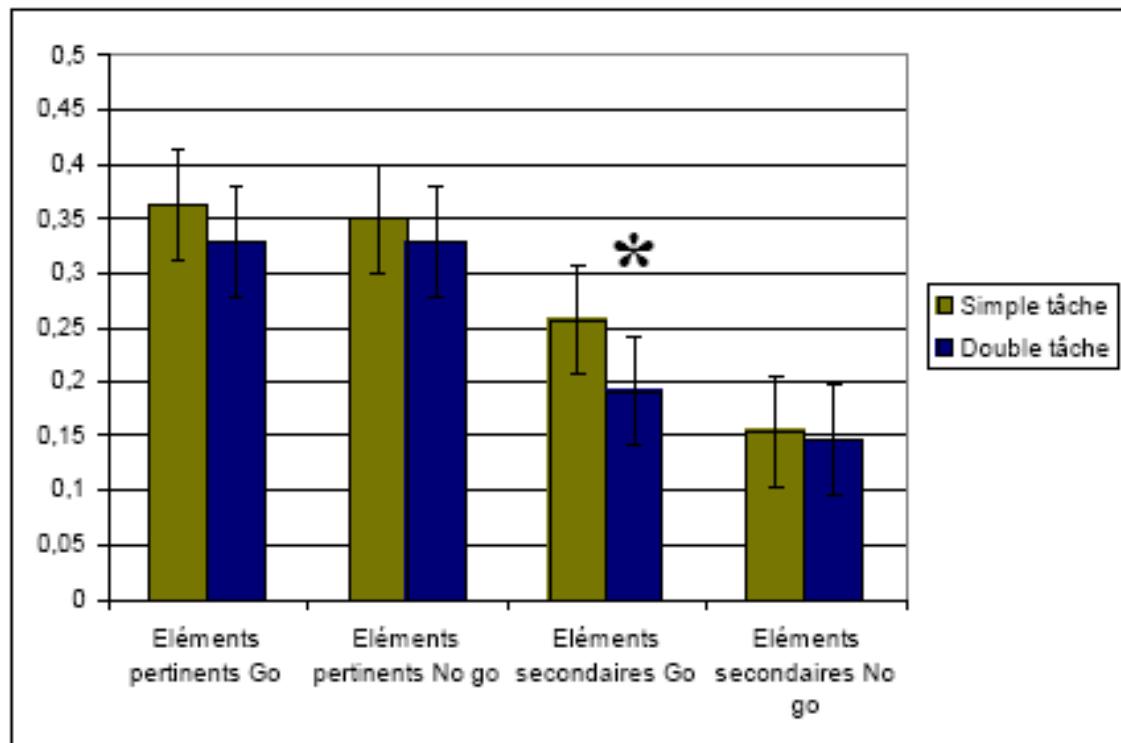


Figure 38: Nombre moyens d'éléments pertinents et secondaires reportés par les conducteurs expérimentés en situations de simple et de double tâche (go, no go)

6-5-1-2/ Conducteur novices vs conducteurs expérimentés

Comme le montre la figure 39, aucune différence significative au niveau général n'est relevée entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés, aussi bien pour le report d'éléments pertinents que secondaires. Il en est de même pour les situations de simple tâche et les situations de double tâche.

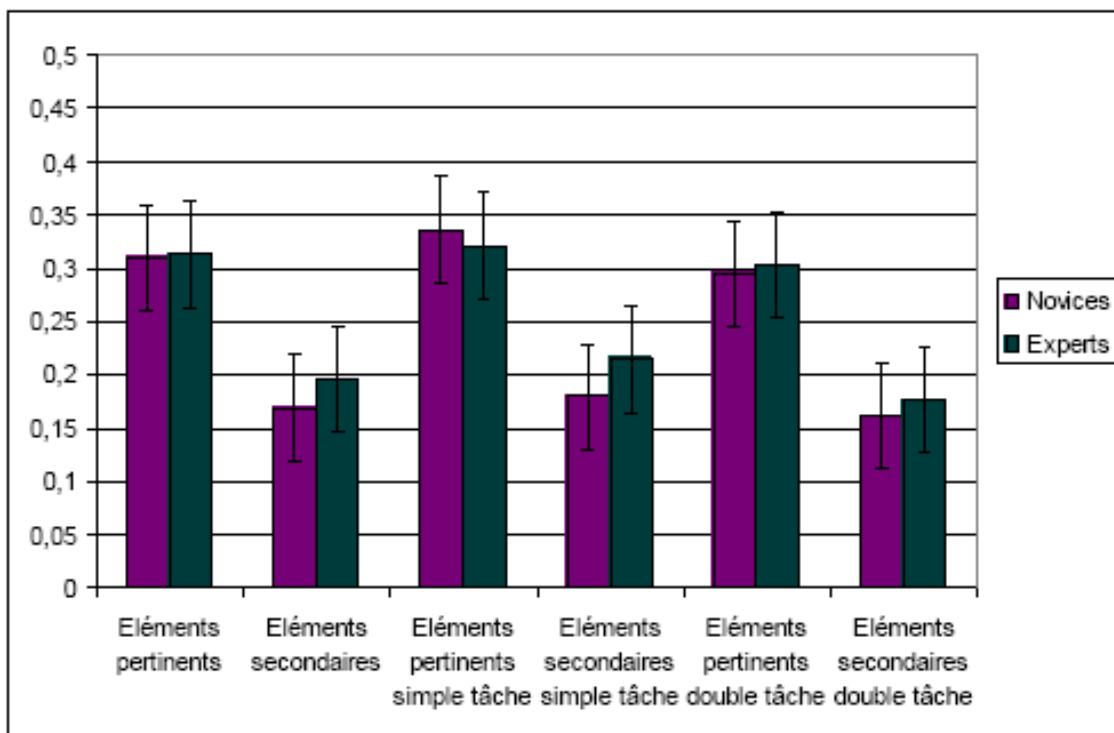


Figure 39: Nombre moyen d'éléments pertinents et secondaires reportés selon les caractéristiques des conducteurs

6-5-1-3/ Synthèse des résultats

Le tableau 15 synthétise les résultats principaux.

Type d'information recherchée (pertinentes – secondaires)

Situation simple tâche (ST) vs double tâche (DT)

- Globalement, moins d'éléments secondaires reportés en DT qu'en ST
- Moins d'éléments secondaires reportés en DT qu'en ST, pour les intersections T et les situations Go

Configuration routière (T-X) et criticité de la situation (go- no go)

- Moins d'éléments pertinents et secondaires reportés pour les intersections en X que les intersections en T
- Moins d'éléments pertinents reportés pour les situations Go que No go
- Moins d'éléments secondaires reportés en DT qu'en ST pour les intersections en T et pour les situations Go, pour les conducteurs expérimentés

Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés

- Pas de différence selon les situations (ST et DT) entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés.

Tableau 15 : Principaux résultats (éléments pertinents, éléments secondaires)

6-5-2/ Localisation de la source d'information (zone proche – zone lointaine)

Nous présenterons ici une analyse ciblée sur l'impact de la situation d'attention partagée sur la localisation de l'information recherchée par les conducteurs, selon que celle-ci soit issue d'une zone proche ou d'une zone lointaine au véhicule.

6-5-2-1/ Situation simple tâche – situation double tâche

Il y a significativement plus d'éléments proches du véhicule reportés en situation de simple tâche qu'en double tâche ($n=16$; $f=143$; $p=0,0223$) (figure 40).

Lorsque l'intersection est en « X », les éléments proches sont significativement plus reportés en situation de simple tâche qu'en situation de double tâche ($n=16$; $f=154$; $p=0,039$).

Lorsque l'intersection est en forme de « T », il y a significativement plus d'éléments reportés en situation de simple tâche que de double tâche, qu'ils s'agissent d'éléments lointains ($n=16$; $f=154,5$; $p= 0,041$) ou d'éléments proches ($n=16$, $f= 143$, $p= 0,023$). Ceci est également vrai lorsqu'il n'y a pas de véhicule en sens inverse (« go ») ; concernant les éléments lointains ($n=16$; $f=154,5$, $p= 0,0415$) et concernant les éléments proches ($n=16$; $f=213,5$; $p=0,0228$) (figure 40).

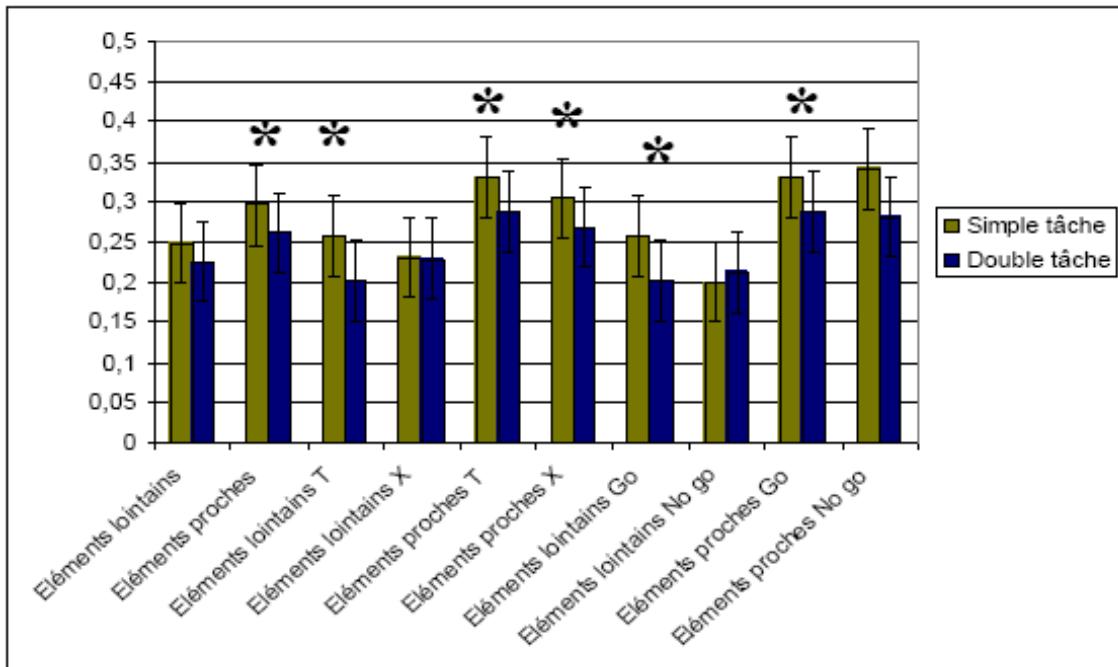


Figure 40: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés en situations de simple et de double tâche

6-5-2-1-1/ Caractéristiques de conducteurs

Que les conducteurs soient novices ou expérimentés, la zone de recherches d'informations ne varie pas significativement selon qu'ils soient en situation de simple ou de double tâche (figure 41).

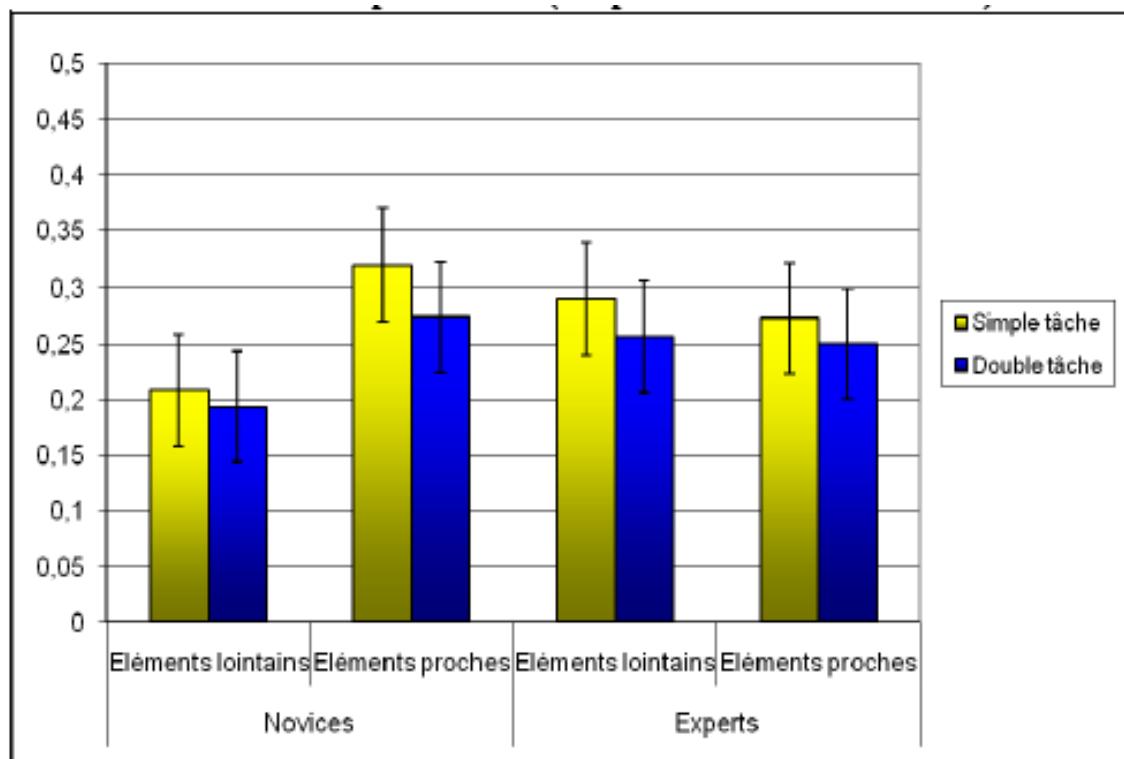


Figure 41: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés par les conducteurs novices et par les conducteurs expérimentés (simple tâche vs double tâche)

6-5-2-1-1/ Configurations routières (T, X) et criticité de la situation (Go, No go)

Lorsque l'on compare les éléments reportés selon qu'il s'agisse d'une intersection en « T » ou en « X », nous observons un report significativement supérieur des éléments lointains lorsque l'intersection est en « T » ($n=16$; $f=386,5$; $p= 0,023$) (figure 42).

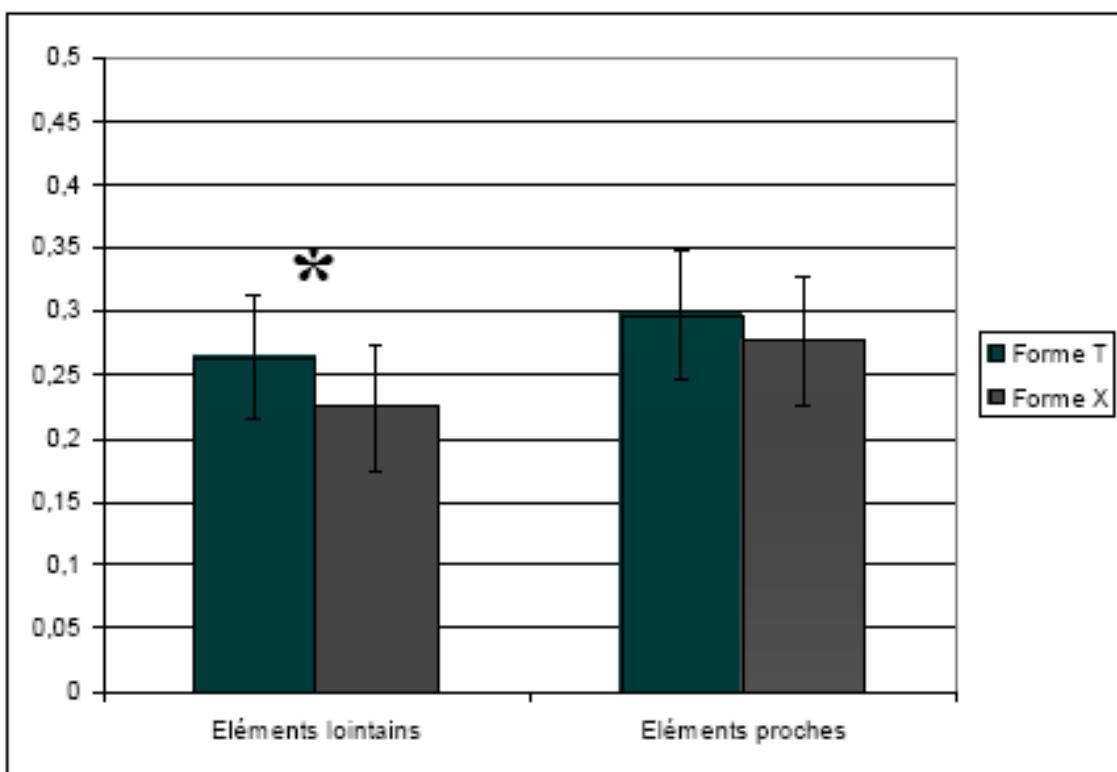


Figure 42: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés pour les intersections X et T

Comme le montre la figure 43, il y a significativement plus d'éléments lointains reportés en situation de No go qu'en situation de Go ($n=16$; $f = 68$; $p = 0.000099$).

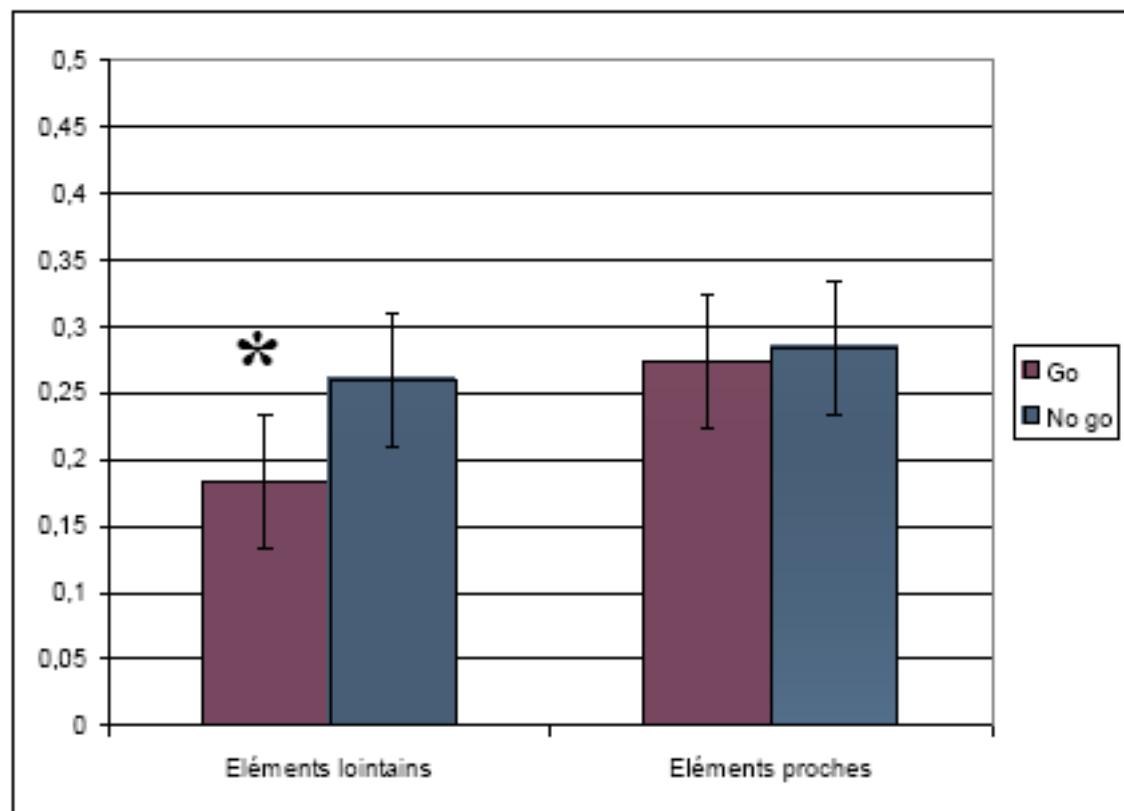


Figure 43: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés en go et en no go

Comme le montre la figure 44, lorsque les intersections sont en « X », les conducteurs novices reportent significativement plus d'éléments issus des zones proches en simple tâche qu'en double tâche ($n=16$; $f = 20$; $p = 0.011$). Ceci est également vrai lorsqu'il y a des véhicules en sens inverse (no go) ($n=16$; $f=20$; $p=0,011$) (figure 45).

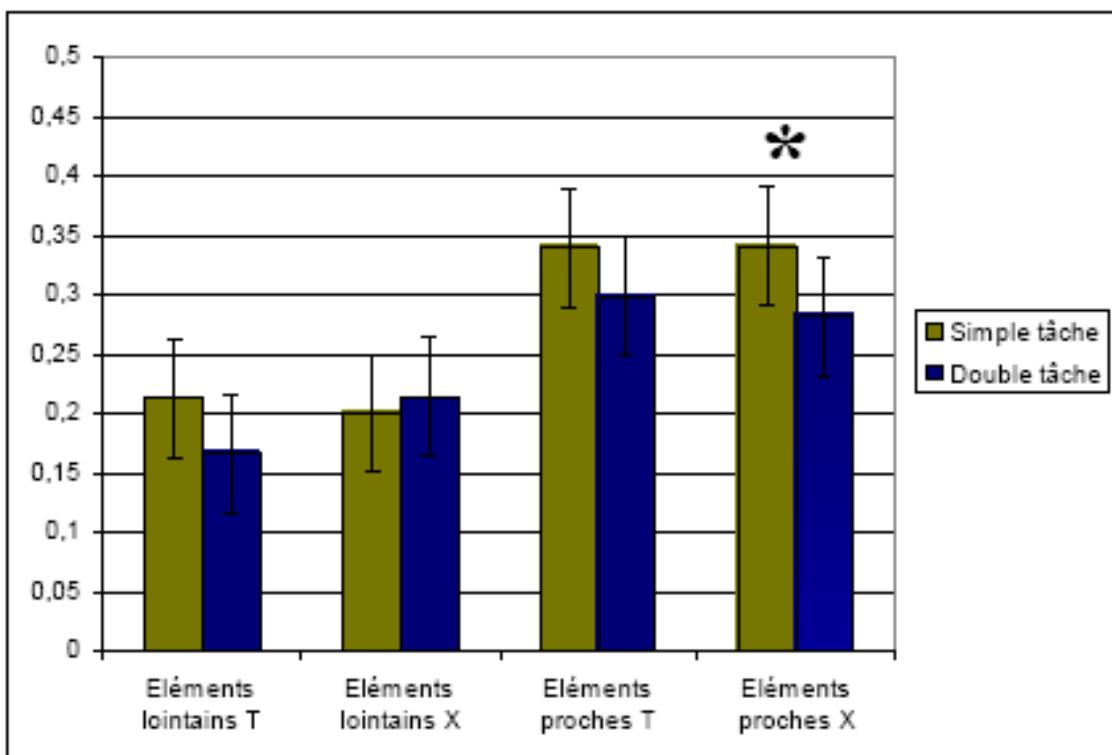


Figure 44: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés par les conducteurs novices en situations de simple et de double tâche (T, X)

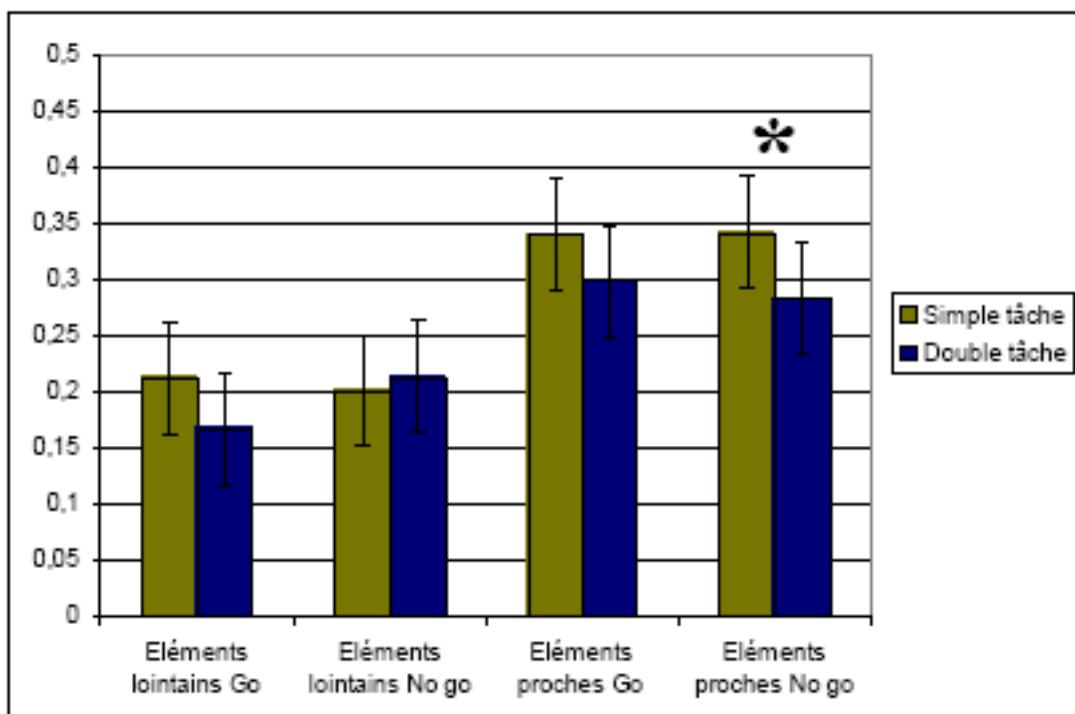


Figure 45: Nombre moyens d'éléments lointains et proches reportés par les conducteurs novices en situation de simple et de double tâche (go, no go)

Par contre concernant les conducteurs expérimentés, quel que soit le type de configuration routière ou le niveau de criticité de la situation, aucune différence significative n'est observée entre les situations de simple et de double tâche (figure 46 et 47).

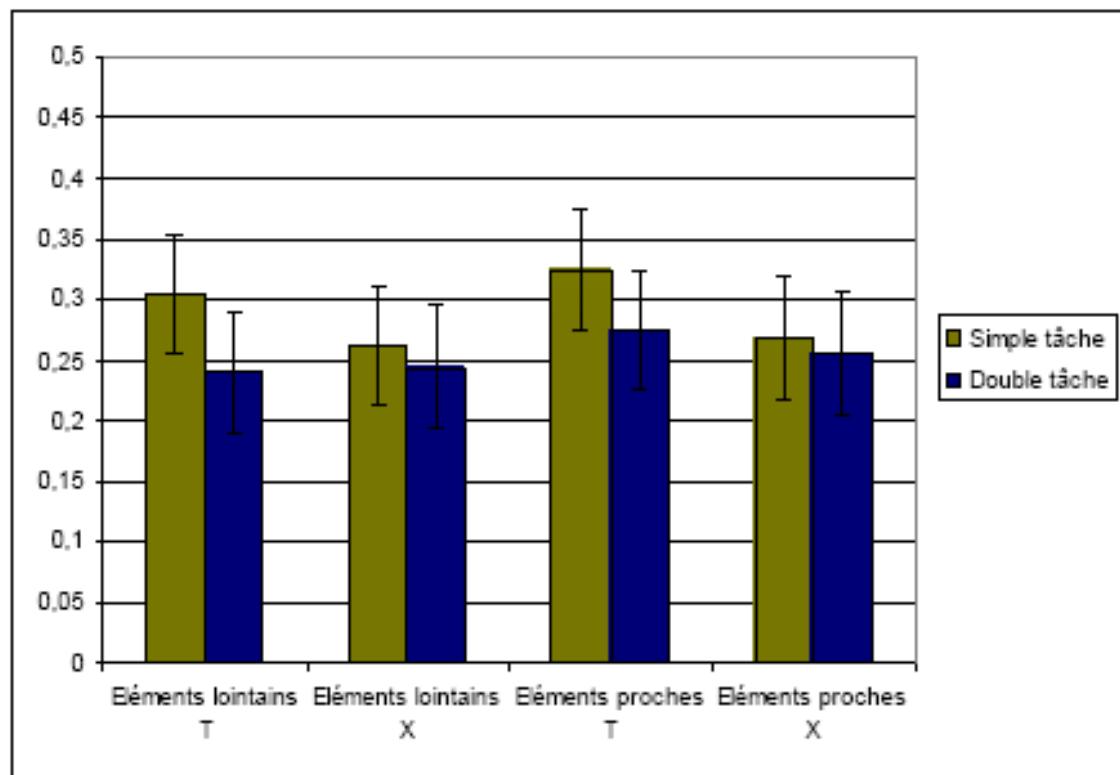


Figure 46: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés par les conducteurs expérimentés en situations de simple et de double tâche (T, X)

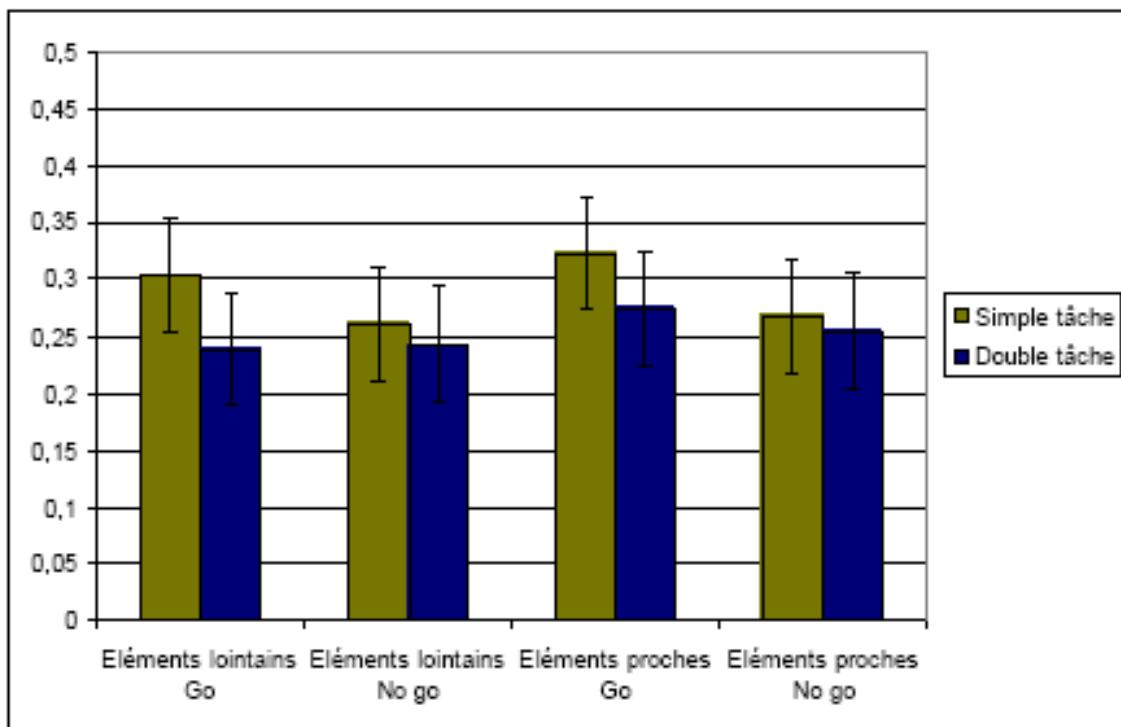


Figure 47: Nombre moyens d'éléments lointains et proches reportés par les conducteurs expérimentés en situations de simple et de double tâche (go, no go)

6-5-2-2/ Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés

A un niveau général, les conducteurs expérimentés reportent significativement plus d'éléments lointains que les conducteurs novices ($n=16$; $f=184$; $p= 0,035$) (figure 48).

Aussi bien en situation de simple tâche que de double tâche, il n'y a pas de différences significatives entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés pour le report d'éléments lointains et d'éléments proches (figure 48).

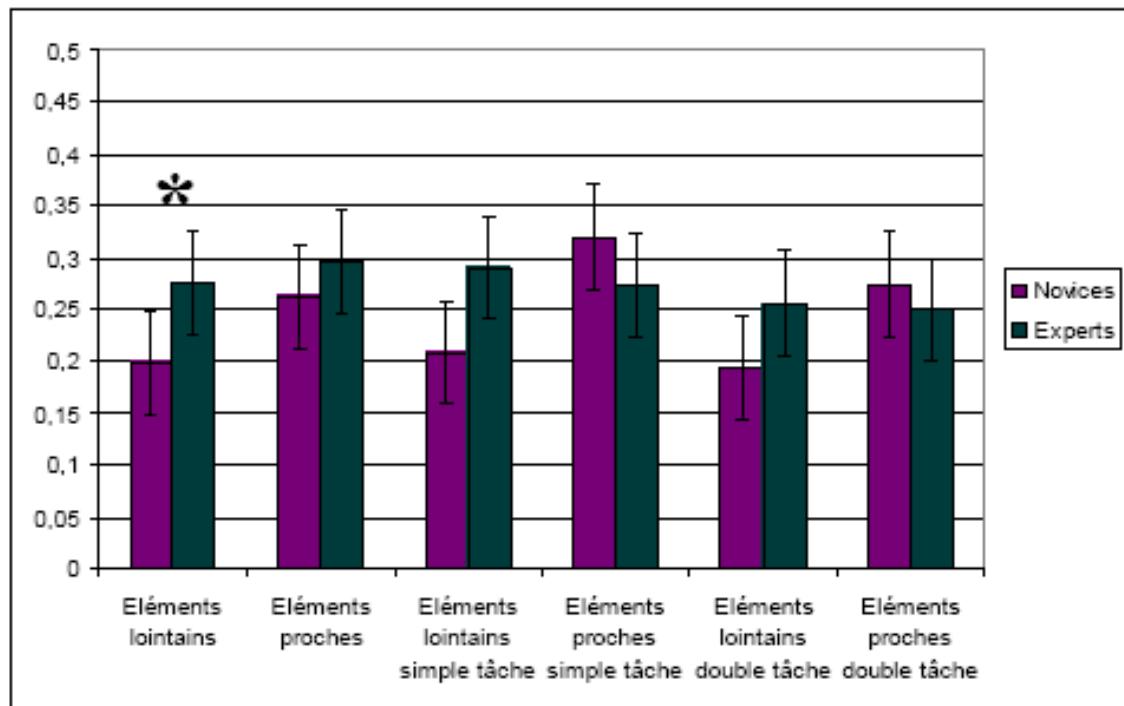


Figure 48: Nombre moyen d'éléments lointains et proches reportés selon les caractéristiques des conducteurs

Par ailleurs, en situation de simple tâche, les conducteurs novices reportent significativement plus d'éléments issus de zones proches que les conducteurs expérimentés, pour les intersections en « X » ($n= 16$; $f= 73$; $p = 0.0387$) et en situations dites « no go » ($n= 16$; $f= 73$; $p = 0.0387$) (figure 49).

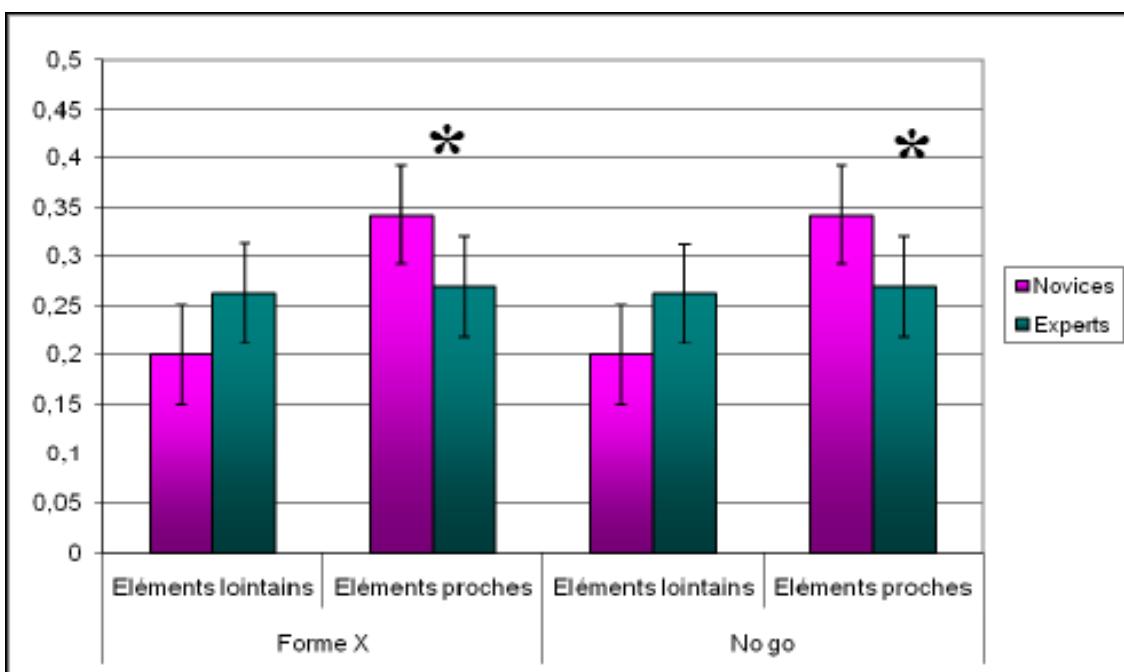


Figure 49: Nombre moyen d'éléments (lointains, proches) reportés en simple tâche, en X et en No go

6-5-2-3/ Synthèse des résultats

Le tableau 16 présente une synthèse des principaux résultats.

Localisation de l'information recherchée (proche – lointaine)	
<u>Situation simple tâche (ST) vs double tâche (DT)</u>	
○	Moins d'éléments proches reportés en DT qu'en ST
○	Moins d'éléments proches reportés en DT qu'en ST, pour les intersections T et en X ainsi que pour les situations Go
○	Moins d'éléments lointains reportés en DT qu'en ST, pour les intersections T et les situations Go
<u>Configuration routière (T-X) et criticité de la situation (go- no go)</u>	
○	Moins d'éléments lointains reportés pour les intersections X que les intersections T
○	Moins d'éléments lointains reportés en situation Go que No go
○	Moins d'éléments proches reportés en DT qu'en ST pour les intersections X et les situations No go, pour les conducteurs novices
<u>Conducteurs novices vs conducteurs expérimentés</u>	
○	Moins d'éléments lointains reportés par les conducteurs novices que par les conducteurs expérimentés
○	En ST, moins d'éléments proches reportés par les conducteurs expérimentés que par les conducteurs novices pour les intersections X et les situations No go

Tableau 16: Principaux résultats (éléments proches, éléments lointains)

6-6/ Discussion

Cette expérimentation, centrée sur la recherche d'informations en franchissement d'intersection, devait permettre de mettre en évidence des particularités concernant la perception des conducteurs novices. Une de nos hypothèses opérationnelles visait à s'interroger sur les modalités de recherches d'informations de ces conducteurs. En nous basant sur les données de la littérature, nous avions supposé que leur inspection de la scène routière serait caractérisée par des regards dirigés essentiellement vers l'avant

occultant ainsi la prise en compte des éléments issus des zones périphériques, la recherche d'information gagnant en pertinence et en dynamisme avec l'expérience de conduite.

Pour vérifier cette hypothèse, nous nous sommes tout d'abord appuyés sur les situations de simple tâche pour comparer la recherche d'informations des conducteurs novices à celle des conducteurs expérimentés. Les résultats obtenus à un niveau global ne nous permettent pas de valider notre hypothèse. En effet, malgré une tendance chez les conducteurs novices à davantage rapporter d'éléments issus des zones proches du véhicule, il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes de conducteurs. Une contradiction avec la littérature que nous pouvons expliquer d'un point de vue méthodologique. En effet, la littérature nous a montré que les conducteurs novices allouaient beaucoup de ressources attentionnelles au contrôle basique du véhicule ; montrant ainsi que les sous-tâches de l'activité de conduite ne peuvent être effectuées par ces conducteurs sans contrôle conscient. Ainsi, l'absence de contraintes opérationnelles (gestion des commandes du véhicule) dans notre expérimentation a facilité l'allocation des ressources attentionnelles de ces conducteurs sur la seule tâche de perception. Pour cette raison, il n'est pas surprenant de ne relever aucune différence significative entre conducteurs novices et conducteurs expérimentés. Nous pouvons ainsi supposer que les erreurs de conduite liées au manque d'expérience, qui sont enregistrées dans la littérature, résultent principalement d'une dégradation au niveau cognitif (au niveau des traitements de hauts niveaux). De plus, dans notre expérimentation le traitement de l'information se traduit par une information prise en compte et reporté alors qu'en situation réelle de conduite, le traitement d'une information englobe sa prise en compte mais également et surtout détermine la réponse c'est-à-dire le comportement à adopter. Il nous est ainsi difficile, au travers de nos résultats, de discuter les étapes suivantes de la chaîne de traitement de l'information. Nous constatons toutefois, qu'à un niveau global, les deux groupes de conducteurs orientent leur recherche d'informations vers les mêmes indices. Il n'y a pas de différence significative entre les conducteurs novices et expérimentés concernant le report d'éléments aussi bien pertinents que secondaires. Cela nous laisse supposer que l'expérience de conduite aurait une influence lors des étapes suivantes de la chaîne de traitement de l'information, à savoir les étapes de diagnostics, d'interprétation et de prises de décision.

Par ailleurs, nous supposons que la recherche d'informations des jeunes conducteurs novices habitués à être continuellement en situation d'attention partagée (en raison de leur utilisation excessive du téléphone portable en toutes situations) ne changerait pas de la situation de simple tâche à celle de double tâche. Autrement dit que les conducteurs novices auraient certaines facilités pour gérer la situation d'attention partagée. Tout d'abord, concernant le type d'informations relevées (pertinentes ou secondaires), il est intéressant de noter qu'il n'y a pas de différence significative entre les situations de simple tâche et de double tâche, les conducteurs novices reportent les mêmes informations. Dans un second temps, si l'on s'intéresse à la recherche d'information selon sa localisation (zones proches ou zones lointaines), on note encore une absence de différence significative entre les situations de simple et de double tâche. Ce résultat semble confirmer notre hypothèse. Une analyse plus fine selon les caractéristiques des intersections révèle toutefois l'effet de la double tâche. Si l'on regroupe les intersections selon leur complexité. Nous pouvons distinguer : 1) les intersections qualifiées de « faciles » comprenant les intersections en « T » et les intersections en « T » ou en « X » sans véhicule en face (dites Go) et 2) les intersections qualifiées de « complexes » comprenant les intersections en « X » et les intersections en « T » ou en « X » avec véhicules en sens inverse (dites No go). Nous avons pu observer que la situation d'attention partagée réduisait significativement le report d'éléments issus

des zones proches quand l'intersection est « complexe ». Nous pouvons donc conclure que l'impact de la tâche ajoutée se traduit par une baisse significative d'éléments répertoriés dans les situations de conduite les plus complexes.

Par ailleurs, le comportement visuel relevé en simple tâche dans des situations complexes telles que les intersections en « X » convergent avec les données de la littérature. Deery (1999) avait montré que les conducteurs novices ne savent pas étendre leur recherche d'informations et se concentrent essentiellement sur les zones proches du véhicule. Chez ces conducteurs, la recherche d'informations est imprécise. Cela laisse supposer que les informations liées à la fois à la manœuvre de franchissement d'intersection et à la réalisation de la tâche ajoutée « crisperaient » les jeunes conducteurs novices et restreindraient l'étendue de leurs regards. En effet, nos résultats montrent que la recherche d'informations des conducteurs novices est sérieusement dégradée en situations complexes : il y a une baisse significative du report d'éléments issus des zones proches du véhicule lors des intersections en « X » et lors des situations « No go ». En revanche, les conducteurs expérimentés ont une exploration perceptive caractérisée par des stratégies de recueil d'informations en cohérence avec les situations rencontrées. Ainsi, l'absence de différence entre les situations de simple et de double tâche chez ces conducteurs laisse penser que lorsque les stratégies sont déjà construites et mises en place, l'impact de la tâche ajoutée est minimisé. Cela est d'autant plus vrai que dans les situations de conduite dites « faciles » (en « T » ou « Go »), ils reportent plus d'éléments secondaires en simple tâche qu'en double tâche. En situation d'attention partagée, les conducteurs expérimentés réduisent la quantité d'attention destinée aux informations secondaires pour la réallouer à la tâche principale.

Nous avons ensuite vérifié si la situation d'attention partagée avait un impact sur le prélèvement d'éléments pertinents ou sur celui d'éléments secondaires. Une première comparaison, entre situations de simple et double tâche, révèle un report significativement moins important des éléments secondaires, lorsque les séquences sont visionnées en double tâche, quelle que soit l'expérience des conducteurs. Cela est d'autant plus prononcé que les conducteurs franchissent une intersection considérée comme « facile ».

En prenant en considération les caractéristiques des conducteurs, nous nous apercevons qu'il n'y a pas de différence significative sur les éléments reportés par les conducteurs novices. Les différences observées au niveau général sont dues essentiellement aux conducteurs expérimentés. Nous avons observé que les conducteurs expérimentés reportent plus d'éléments secondaires en situation de simple tâche que de double tâche, dans les situations de conduites dites « faciles ». Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les conducteurs expérimentés savent repérer les informations pertinentes d'un simple regard, il leur est inutile de s'attarder longuement sur les informations perçues. De cette manière, ils ont la possibilité de surveiller d'autres éléments, utiles ou non à la décision de franchir l'intersection.

Nous avons également vérifié s'il y avait un effet d'expérience sur la recherche d'informations au niveau du type d'information relevée. Nous avons pour cela émis l'hypothèse selon laquelle les conducteurs novices rapporteraient davantage d'éléments secondaires alors que les conducteurs expérimentés sauraient focaliser leur attention sur les éléments pertinents de la signalisation. Les résultats ne nous permettent pas de valider cette hypothèse dans la mesure où l'on n'observe aucune différence entre les groupes de conducteurs, aussi bien pour le report d'éléments pertinents que celui d'éléments secondaires, et cela aussi bien en situations de simple que de double tâche. Pour expliquer cette absence de différence entre les deux populations ; nous pouvons revenir sur l'aspect

méthodologique. En effet, les conducteurs novices ont pu compenser leurs difficultés perceptives en reportant un maximum d'éléments de la scène routière qu'ils ne prendraient pas forcément en compte en situation réelle de conduite. Il semblerait qu'ils aient davantage considéré l'expérimentation comme un exercice de mémorisation que comme une mise en situation de conduite. De ces éléments, nous pouvons malgré tout établir la conclusion suivante : la tâche ajoutée n'a pas eu d'impact sur l'identification des éléments, tous les éléments ont le même degré de « pertinence » pour les conducteurs novices.

En nous basant sur les résultats de notre première expérimentation, nous avions supposé que la recherche d'informations des conducteurs novices ne changerait pas significativement en double tâche. Nos résultats nous permettent de valider cette hypothèse dans la mesure où la nature des informations relevées par les conducteurs novices ne présente pas de différence significative qu'ils soient en situation de simple ou de double tâche. Les informations sont relevées sans distinction selon leur pertinence pour la tâche de conduite. Deux explications peuvent être mises en avant. Etant donné que les conducteurs novices ont des difficultés pour hiérarchiser les informations en fonction de leur pertinence, il n'est pas étonnant de n'avoir aucune différence significative entre les situations de simple et de double tâche. Leur recherche d'informations est désorganisée et s'effectue « au hasard », la tâche ajoutée n'a donc pas d'effet, car l'exploration visuelle n'est pas structurée à la base. En effet, après l'obtention du permis de conduire, l'apprentissage de la conduite n'est pas terminé et les conducteurs novices sont encore au stade du développement des compétences. C'est pour cette raison qu'ils ont des difficultés pour diriger leur recherche d'informations et différencier les éléments perçus selon leur importance. De plus, une de nos hypothèses visait à tester si la recherche d'informations des conducteurs expérimentés serait moins pertinente en situation de double tâche qu'en situation de simple tâche. Nous ne pouvons pas valider notre hypothèse étant donné que le report d'éléments pertinents entre les situations de simple tâche et de double tâche ne diffère pas significativement.

Aussi, pour expliquer cette absence de différence entre les situations de simple et double tâche, nous pouvons également nous interroger sur la situation de double tâche en elle-même. En effet, une tâche secondaire de faible difficulté n'a pas d'incidence sur les performances de conduite (Strayer & Johnston 2001). Si l'on se réfère à la théorie de Norman et Shallice (1980 ; 1986), une tâche ajoutée ne devrait pas interférer avec l'activité de conduite si les deux tâches sont « faiblement » coûteuses. L'activité de conduite serait gérée par le système de contrôle automatique, tant que la tâche ne demande pas de ressources particulières, laissant ainsi le système exécutif central libre pour s'occuper de la tâche secondaire. Toutefois, si les deux tâches viennent à surcharger le système, les performances se dégraderont. Ainsi, le fait de ne pouvoir confirmer les données de la littérature peut également provenir du fait que les deux tâches que nous avons proposées aux participants ne présentaient pas de difficulté majeure. Ils ont pu les gérer conjointement sans forcément présenter d'altération significative de leurs performances.

Nous voulions, à partir de nos hypothèses, déterminer comment un conducteur pouvait anticiper le franchissement d'une intersection en prélevant les informations pertinentes, dans des zones pertinentes. Nous voulions de plus, vérifier que la qualité des prises de décision et l'anticipation seraient fonction de l'expérience de conduite. Nous avons relevé un impact différent de la situation de double tâche selon la complexité de la situation de conduite et notamment selon le type d'infrastructure. Ceci nous conduira à explorer de nouvelles pistes de recherche et à émettre de nouvelles hypothèses propres cette fois-ci aux mécanismes de hauts niveaux.

Conclusion et perspectives

Ce travail de thèse s'inscrit dans un champ de recherche destiné à évaluer les effets de la distraction sur la sécurité routière. Les études réalisées autour de cette thématique sont nombreuses et ont permis de mettre en avant les difficultés des conducteurs à gérer conjointement leur activité de conduite et une tâche ajoutée (une conversation téléphonique par exemple). Les conclusions de l'ensemble de ces recherches s'accordent sur les perturbations de l'activité de conduite causées par la distraction. Les traitements de hauts niveaux sont particulièrement affectés. En effet, l'exploration visuelle est modifiée et le champ visuel réduit, le prélèvement de l'information est donc moins pertinent ; des difficultés sont également relevées au niveau du jugement et de la compréhension des situations rencontrées ; et finalement la prise de décision est altérée.

Ce travail de thèse visait à apporter des éléments nouveaux relatifs aux situations d'attention partagée en conduite automobile. Pour cela, nous avons choisi de mener notre recherche auprès d'une population de conducteurs pour laquelle les effets d'une tâche ajoutée sur les performances de conduite ont fait l'objet de peu d'études. De plus, nous avons orienté nos analyses sur la gestion de configurations routières complexes. Il s'agit plus spécifiquement d'observer comment la manœuvre de franchissement d'intersection est mise à défaut par la réalisation de la tâche ajoutée. Ainsi, l'objectif principal de ce travail visait à mieux comprendre comment une population de jeunes conducteurs novices, fraîchement licenciée, gère une situation complexe de conduite en présence d'une distraction d'ordre cognitif. En d'autres mots, nous avons cherché à déterminer comment la réalisation d'une tâche ajoutée diminue les capacités des conducteurs à prévoir / projeter les évolutions de l'environnement routier pour s'y adapter.

Pour répondre à cet objectif, nous avons conduit deux expérimentations complémentaires, l'une en environnement réel de conduite et l'autre en laboratoire. Lors de la première expérimentation, les conducteurs devaient effectuer un trajet tout en suivant les indications d'un système de navigation. À des moments prédéfinis, ils devaient également maintenir une conversation téléphonique en continuant à suivre les instructions du système de navigation. Cette expérimentation était à visée double. Il s'agissait 1) d'analyser la qualité de la recherche d'informations des conducteurs lors de la gestion d'une tâche de conduite complexe (conduite et suivi des instructions d'un système de navigation) et d'une conversation téléphonique et 2) de mesurer l'interférence entre les deux tâches sur la qualité du traitement de l'information et les difficultés de conduite. La seconde expérimentation a été réalisée en laboratoire. Elle consistait à présenter aux participants des séquences vidéographiques représentant l'arrivée sur différentes intersections. Les participants devaient déterminer s'ils pouvaient tourner à gauche en arrivant sur l'intersection et rapporter les informations importantes de la scène de conduite qui pouvaient guider leur réponse. Pour la moitié des séquences, une tâche secondaire était ajoutée. L'objectif était de s'intéresser exclusivement à la recherche d'informations des conducteurs. Cela nous a permis d'observer si la tâche ajoutée avait une influence sur la localisation des informations prélevées et sur la pertinence de ces informations.

Nos résultats ont montré un effet de la situation d'attention partagée au niveau tactique, la recherche d'informations étant moins efficace (diminution de la consultation

des rétroviseurs et baisse de la surveillance de la branche à venir de l'intersection). Notre seconde expérimentation a montré des différences dans les informations recherchées : moins d'éléments secondaires et d'éléments proches ont été reportés en situation d'attention partagée. Certaines informations pourtant nécessaires pour amorcer la manœuvre de franchissement d'intersection sont ainsi mises à défaut et cela pourrait se traduire par une prise de décision inadaptée en situation de conduite.

Contrairement à nos attentes, aucune des deux expérimentations n'a mis en évidence, à un niveau global, un effet de l'expérience de conduite. En revanche, si l'on s'intéresse aux situations de simple tâche, on peut relever des différences entre les conducteurs novices et les conducteurs expérimentés. Concernant la première expérimentation, nous avons relevé un effet de l'expérience au niveau opérationnel lors de franchissements des TAG (plus d'erreurs pour les conducteurs novices). Lors de notre seconde expérimentation, nous avons relevé lors de situations complexes (« intersections en « X » et situations de « No go ») un effet de l'expérience sur le traitement des éléments proches (moins d'éléments reportés pour les conducteurs novices). Par ailleurs, l'impact de la tâche ajoutée s'est avéré différent selon l'expérience des conducteurs. Notre première expérimentation montre que les conducteurs novices sont perturbés au niveau de la perception et au niveau des sous-tâches cognitives (niveau tactique) alors que les conducteurs expérimentés sont perturbés au niveau de la perception et au niveau opérationnel. Il semblerait que l'inexpérience des conducteurs novices engendre des difficultés à prévoir les situations à venir. En effet, les perturbations au niveau tactique sont synonymes de difficultés de traitement de l'information et d'adaptation à la situation. En raison d'une recherche d'informations moins structurée (seconde expérimentation) il est difficile pour les conducteurs novices de mettre en place des stratégies de recherche d'informations efficaces qui leurs permettraient d'adapter leur comportement de conduite et de réagir correctement si la situation le demandait.

Par ailleurs, en raison de l'habitude des jeunes conducteurs à être en situation de double tâche dans la vie quotidienne (utilisation simultanée du téléphone portable et de l'ordinateur par exemple), nous avions supposé que l'impact de la situation d'attention partagée serait moindre pour cette population de conducteurs. Les résultats obtenus apportent des réponses mitigées. En effet, il semblerait bien qu'au niveau opérationnel, leurs performances ne présentent pas de différences significatives qu'ils soient en simple ou en double tâche. Ce résultat contredit les données de la littérature mais pourrait révéler une évolution par rapport aux premières expérimentations réalisées sur les effets des situations d'attention partagée. Aujourd'hui, avec l'utilisation de plus en plus courante du téléphone au volant, les conducteurs ont sans doute « apprivoisé » la situation de double tâche et ceci pourrait expliquer que les effets de la conversation téléphonique soient modérés sur certains aspects de l'activité de conduite. En revanche, les sous-tâches cognitives essentielles à l'activité de conduite ne semblent pas bénéficier de cette « aptitude » à partager leur attention. Ce qui démontre que, malgré des automatismes développés grâce à leur mode de vie (effectuer continuellement plusieurs choses en même temps), l'activité de conduite reste une activité complexe qui requiert un développement de compétences spécifiques et d'automatismes qui lui sont propres.

Ce travail nous permet de conclure à la difficulté pour les conducteurs de maintenir des performances de conduite acceptables tout en réalisant une tâche annexe. Les problèmes cognitifs engendrés par le partage attentionnel induisent inévitablement une difficulté pour les conducteurs à anticiper et à projeter les changements susceptibles de se produire dans la scène routière. Notre première expérimentation montre que l'activité de conduite des conducteurs novices est particulièrement affectée par la situation de double tâche (impact

de la conversation téléphonique au niveau tactique). L'anticipation et la projection sont d'autant plus difficiles que leurs compétences de conduite sont en cours de développement. Selon les caractéristiques des conducteurs, les effets au niveau de la chaîne de traitement de l'information sont différents. Ainsi, un prolongement de ce travail pourrait envisager d'analyser plus en profondeur les données recueillies. Il serait également pertinent de compléter les données par de nouvelles expérimentations en laboratoire (de manière à mieux contrôler les variables), afin de se centrer sur les étapes intermédiaires de la chaîne de traitement de l'information. Il s'agirait de déterminer de quelle manière les informations relevées en situations complexes sont traitées afin d'identifier le rôle de l'expérience de conduite, car il semblerait que se soit davantage au niveau cognitif que les différences entre conducteurs expérimentés et conducteurs novices soient prononcées.

En termes de sécurité routière, ce travail apporte des éléments en matière de prévention et permet de montrer comment une distraction perturbe l'activité de conduite. Il permet de montrer comment et pourquoi l'introduction de nouvelles technologies peut causer des situations de conduite critiques. Ce travail peut, de plus, être utile à la formation des conducteurs. Les connaissances apportées permettront d'orienter l'apprentissage sur les éléments dégradés par la réalisation d'une tâche ajoutée. Il s'agira dès la formation, d'une part, de sensibiliser les jeunes sur les effets de la distraction, et d'autre part, de les mettre en situation. Pour cela, il serait intéressant d'introduire des questions relatives à la distraction dans l'apprentissage du code de la route et par la suite, au moment de l'apprentissage pratique, de mettre le jeune apprenti conducteur en situation de double tâche. Cela l'aidera peut-être à prendre conscience du phénomène et des risques encourus.

Bibliographie

- Adelson, B. (1984). When novices surpass experts: The difficulty of a task may increase with expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 483-495.
- Alm, H., & Nilsson, L. (1994). Changes in driver behaviour as a function of hands free mobile phone: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 26(4), 441-451.
- Alm, H., & Nilsson, L. (1995). The effect of mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. *Accident Analysis and Prevention*, 27(5), 707-715.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Antilla, V., & Luoma. (2005). Surrogate in-vehicle information systems and driver behaviour in an urban environment: A field study on the effects of visual and cognitive load. *Transportation Research part F*, 8, 121-133.
- Atkinson, R. G., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. In K. W. Spence, Spence, J.T. (Ed.), *The psychology of learning and motivation* 2. New York: Acad. Press.
- Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Brower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8). New York: Academic Press.
- Bailly, B. E. (2004). *Conscience de la situation de conducteurs : aspects fondamentaux, méthodes et applications pour la formation des conducteurs*. Université Lumière, Lyon 2.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Oxford: McMillan.
- Bellet, T. X. (1998). *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain: une application à la conduite à la conduite automobile*. Université René Descartes, Paris V.
- Bellet, T. X., Tattegrain-Veste, H., Chapon, A., Bruyas, M.-P., Pachiaudi, G., Deleurence, P., et al. (2003). Ingénierie cognitive dans le contexte de l'assistance à la conduite automobile. In G. Boy (Ed.), *Ingénierie cognitive* (pp. 383-414). Paris: Hermès.
- Benda, H.V. Hoyos, C. G. (1983). Estimating hazards in traffic situations. *Accident Analysis and Prevention*, 15, 1-10.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Brookhuis, K. A., de Vries, G., & de Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 23(4), 309-316.
- Brooks, A., Nowakowski, C., Green, P. (1999). *Turn-by-Turn displays versus electronic maps: an on-the-road comparison of driver glance behaviour*. The University of Michigan.

- Brown, I. (2001). *A review of the "looked-but-to-see" accident causation factor*. . Paper presented at the Department of Environment, Transport and the Regions Conference on Driver Behaviour.
- Brown, I. D., & Groeger, J. A. (1988). Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status. *Ergonomics*, 31, 345-352.
- Brown, I. D., Groeger, J. A., & Biehl, B. (1987). Is driver training contributing enough towards road safety? In J. A. Rothengatter & R. A. De Bruin (Eds.), *Road users and traffic safety* (pp. 135-156). Assen/ Maastricht: The Netherlands: Van Gorcum.
- Brown, I. D. T., A. H., & Simmonds, D. C. (1969). Interference between concurrent tasks of driving and telephoning. *Journal of Applied Psychology*, 53(5), 419-424.
- Brusque, C. (2007). The influence of in-vehicle information systems on driver behaviour and road safety: Synthesis of existence knowledge Cost 352. Les collections de l'INRETS. Synthèse n°54.
- Camus, J.-F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris: Armand Colin/ Masson.
- Camus, J. F. (2003). L'attention et ses modèles. Attention: recent models and theories. *Psychologie Française*, n°48(1), 5-18.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 151-170.
- Chanquoy, L., & Negro, I. (2004). *Psychologie du développement*. Paris: Hachette.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive, théorie et application*. Paris: Armand Colin.
- Chapman, P. R. & Underwood, G. (1998). Visual Search of Dynamic Scenes: Event Types and the Role of Experience in Viewing Driving Situations. In G. Underwood (Ed). *Eye Guidance in Reading and Scene Perception*. Elsevier Science Ltd. Pp 369-393.
- Chapman, P.R. & Underwood, G. (1999). Looking for danger: Drivers' eye movements in hazardous situations. In A.G. Gale et al. (Eds) *Vision In Vehicles VII*. (pp 225-232). Amsterdam: ELsevier
- Chapman, P. Underwood, G. & Roberts, K. (2002). Visual search patterns in trained and untrained novice drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(2), 157-167
- Chapon, A., Bruyas, M. P., Lelekov-Boissard, T., Letisserand, D., Deleurence, P., & Chanut, O. (2004). Conséquences de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication pendant la conduite automobile. *INRETS-LESCOT, 0401*.
- Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C., & Truman, W. (2006). Young driver accidents in the UK: The influence of age, experience, and time of day. *Accident Analysis and Prevention*, 38(5), 871-878.
- Clarke, D. D., Ward, P., & Truman, W. (2005). Voluntary risk taking and skill deficits in young driver accidents in the UK. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 523-529.
- Conrad, R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology*, 55, 429-432.

- Consiglio, W., Driscoll, P., Witte, M., & Berg, W.P. (2003). Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 495-500.
- Cooper, P. J., Zheng, Y., Richard, C., Vavrik, J., & Heinrichs, B. G. S. (2003). The impact of hands-free message reception/response on driving task performance. *Accident Analysis and Prevention*, 35(23-35).
- Cornaton-Roche, J. (1997). *Approche des concepts de professionnel et de professionnalisation*. Unpublished Thèse de doctorat de psychologie, Université Lumière Lyon 2.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104(2), 321-335.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Daneman, M., & Tardif, T. (1987). Working memory and reading skill re-examined. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading*. Hove, UK. Erlbaum.
- De Montmollin, M. (2001). La compétence. In F. Daniellou, G. De Terssac & Y. Schwartz (Eds.), *Les compétences en ergonomie* (pp. 11-25). Toulouse: Octares Edition.
- Deery, H. A. (1999). Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers. *Journal of Safety Research*, 30(4), 225-236.
- Deery, H. A., & Love, A. W. (1996). The effect of a moderate dose of alcohol on the traffic hazard perception profile of young drink-drivers. *Addiction*, 91(6), 815-827.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- Dingus, T., McGehee, D., Hulse, M., Jahns, S., & Manakkal, N. (1995). *Travtrek evaluation task C3 – Camera Car study*.
- Drummond, A. E. (1989). *An overview of novice driver performance issues* (No. 9): Monash University Accident Research Center.
- Endsley, M. R. (1988). *Design and evaluation for situation awareness enhancement*. Paper presented at the Paper presented at the Proceeding of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, Santa Monica, CA.
- Endsley, M. R. (1991). Situation awareness in dynamic systems. In Y. Quiennec, Daniellou, F. (Ed.), *Design for Everyone* (pp. 801-803). London: Taylor and Francis.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Hum Factors*, 37(1), 32-64.
- Endsley, M. R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: a critical review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness Analysis and Measurement*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Erick, C. B., Simons-Morton, B. G., Lee, S. E., & Neale, V. L. (2005). *Intersection behavior of novice teen drivers and experienced adult drivers*. Paper presented at the 49th annual meeting of Human factors and ergonomics society
- Elvik, R., Mysen, A., & Vaa, T. (1989). Trafiksikkerhetshandbok. Oslo: TOI Transportokonomisk institutt. Norsk center for samferdselsforskning.
- Falkmer, T., & Gregersen, N.P (2001). Fixations patterns of learner drivers with and without cerebral palsy (CP) when driving in real traffic environments. *Transport Research F*, 4, 171-185
- Fairclough, S. H., Ashby, M.C., Roos, T., & Parkes, A.M. (1991). *Effects of Handsfree Telephone Use on Driving Behaviour*. Paper presented at the ISATA Congress.
- Ferguson, S. A. (2003). Other high-risk factors for young drivers - how graduated licensing does, doesn't or could address them. *Annu Proc Assoc Adv Automot Med*, 47, 539-542.
- Gärtner, U., König, W., & Wittig, T. (2001). *Evaluation of Manual vs Speech Input When Using a Driver Information System in Real Traffic*: <http://ppc.iuowa.edu/driving-assessment/2001/Summaries/downloads/> .
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*: Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Oxford, England: Houghton Mifflin.
- Greenberg, J., Tijerina, L., Curry, R., Artz, B., Cathey, L., Grant, P., et al. (2003). Evaluation of driver distraction using an event detection paradigm. *Journal of the Transportation Research Board*, 1843, 1-9.
- Gregersen, N. P., & Berg, H. Y. (1994). Lifestyle and accidents among young drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 26(3), 297-303.
- Haigney, D., & Westerman, S. J. (2001). Mobile (cellular) phone use and driving: a critical review of research methodology. *Ergonomics*, 44(2), 132-143.
- Haigney, D. E., Taylor, R., & Westerman, S. J. (2000). Concurrent mobile (cellular) phone use and driving performance: task demand characteristics and compensatory processes. *Transportation Research, part F*, 3(2000), 113-121.
- Hale, A. R., Stoop, J., & Hommels, J. (1990). Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems. *Ergonomics*, 33, 1377-1388.
- Hancock, P. A., Lesch, M., & Simmons, L. (2003). The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accident Analysis and Prevention*, 35(4), 501-514.
- Harbluk, J. L., & Noy, Y. I. (2002). L'impact de la distraction cognitive sur le comportement visuel du conducteur et sur le contrôle du véhicule. *Direction de la Sécurité Routière et de la Réglementation Automobile*, (N°.TP 13889F).
- Harbluk, J. L., Noy, Y. I., Trbovich, P. L., & Eizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis and Prevention*, 39(2), 372-379.
- Hooey, B. L., & Gore, B. F. (1998). *Advanced traveller information systems and commercial vehicle operations components of the intelligent transportation systems*:

- head-up displays and driver attention for navigation information:* US. Departement of transportation federal highway administration.
- Hway-liem, O. (2002). Mogelijke veiligheidseffecten van navigatiesystemen. R-2002-30. SWOV, Leidschendam, Netherlands. In B.L. Hooey and B.F. Gore (1998). Advanced Traveller Information Systems and Commercial Vehicle Operations Components of the Intelligent Transportation Systems: head-up displays and driver attention for navigation information (FHWA-RD-96-153): US. Department of Transport Federal Highway Administration
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman, Davies, D.R (Ed.), *Varieties of attention* (pp. 29-61). New York: Academic Press.
- Keyser (De), V. (1989). L'erreur humaine. *La recherche*, 20(216), 1444-1455.
- Keyser (De), V., Nyssen, A. S. (1993). Les erreurs humaines en anesthésie. *Le Travail Humain*, 56(2-3), 243-266.
- Laapotti, S., Keskinen, E., Hatakka, M., & Katila, A. (1996). *Is the connection between quantity and quality of driving and accidents similar for young and middle-aged drivers?* Paper presented at the International Conference on Traffic and Transport Psychology, 22-25 May.
- Laapotti, S., Keskinen, E., Hatakka, M., & Katila, A. (2001). Novice drivers' accidents and violations--a failure on higher or lower hierarchical levels of driving behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 33(6), 759-769.
- Laberge-Nadeau, C., Maag, U., Bellavance, F., Lapierre, S., Desjardins, D., Messier, S., et al. (2003). Wireless telephones and the risk of road crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 35(4), 649-660.
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., & Summala, H. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis and Prevention*, 31(6), 617-623.
- Lansdown, T. C. (2002). Individual differences during driver secondary task performance: verbal protocol and visual allocation findings. *Accident Analysis and Prevention*, 34(5), 655-662.
- Lemaire, P. (1999). *Psychologie cognitive*: Deboeck Université.
- Leplat, J. (1985). *Erreur Humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris: Armand Colin.
- Leplat, J. (1999). Analyse cognitive de l'erreur. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 1er trimestre, 49(1), 31-41.
- Lerner, N. D.: 'Young drivers and highway design and operations: findings and recommended research.' (Research Boulevard, 2001, No. DTFH61-98-C-00063)
- Liu, B. S., & Lee, Y. H. (2005). Effects of car-phone use and aggressive disposition during critical driving maneuvers. *Transportation Research part F*, 8, 369-382.
- Liu, B. S., & Lee, Y. H. (2006). In-vehicle workload assessment: Effects of traffic situations and cellular telephone use. *Journal of Safety Research*, 37, 99-105.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492-527.

- Martin, R. (2005). La pensée humaine et sa modélisation: un modèle structuro-fonctionnel ou une entreprise complexe. In B. Cadet (Ed.), *La complexité: ses formes, ses traitements, ses effets* (Vol. n°special 04-2005, pp. 19-28). Caen: MRSH: Cahier de la MRSH.
- Matthews, M. L., & Moran, A. R. (1986). Age differences in male drivers' perception of accident risk: the role of perceived driving ability. *Accident Analysis and Prevention*, 18, 299-313.
- Maycock, G., Lockwood, C. R., & Lester, J. F. (1991). *The accident liability of car drivers*: Transport Research Laboratory: Crowthorne.
- Mayhew, D. R., Simpson, H. M., & Pak, A. (2003). Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving. *Accident Analysis and Prevention*, 35(5), 683-691.
- Mazeau, M. (1993). L'homme, agent de fiabilité faillible. *Performances humaines et techniques* 66.
- McCarley, J. S., Vais, M. J., Pringle, H., Kramer, A. F., Irwin, D. E., & Strayer, D. L. (2004). Conversation disrupts change detection in complex traffic scenes. *Human Factors*, 46(3), 424-436.
- McCartt, A. T., Shabanova, V. I., & Leaf, W. A. (2003). Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 35(3), 311-320.
- McDonald, W. A. (1994). *Young driver research program. A review of information on young driver performance characteristics and capacities*: Monash University. Accident Research Centre.
- McDonald, W. A., & Hoffmann, E. R. (1991). Drivers' awareness of traffic sign information. *Ergonomics*, 34(5), 585-612.
- McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (1993). The effect of cellular phone use upon driver attention. *Accident Analysis and Prevention*, 25(4), 259-265.
- McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (2000). *The behavioral contributors to highway crashes of youthful drivers*. Paper presented at the Proceedings of the 44th annual conference of the Association for the Advancement of Automobile Medicine.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans, Schwing, R.C (Ed.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-520). New York: Plenum Press.
- Milech, D., Gleencross, D., & Hartley, L. (1989). *Skills acquisition by young drivers: perceiving, interpreting, and responding to the driving environment*. Canberra: FORS.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minor two; some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affectives cues and the influence instructions. *Quartely Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Mourant, R. R., & Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14, 325-335.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function*: Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

- Näätänen, R., Summala, H. (1974). A model for the role of motivational factors in driver's decision making. *Accident Analysis and Prevention*, 6, 243-261.
- Näätänen, R., Summala, H. (1976). *Road-user behaviour and traffic accidents*. Amsterdam: North-Holland.
- Najm, W. G., Mironier, M., Koziol, J. S., Wang, J. S., & Knippling, R. R. (1995). *Examination of target vehicular crashes and potential ITS countermeasures*: Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, N.J.
- Neath, I. (2000). Modelling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin et Review*, 7, 403-423.
- Neboit, M. (1980). *L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes: l'exemple de la conduite automobile*. Ecole pratique des Hautes Etudes, Paris.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality: Principles and implications of cognitive psychologie*. San Francisco: Freeman.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*: Prentice-Hall.
- Norman, D. A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
- Norman, D. A., & Bobrow, D. J. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action. Willed and automatic control of behavior*. University of California San Diego CHIP.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and Automatic Control of Behavior. In G. E. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation* (Vol. 4, pp. 1-18). New York-London: Plenum Press.
- Nowakowski, C., Utsui, Y., & Green, P. (2000). *Navigation System Destination Entry: The effect of driver workload and input devices, and implication for SAE recommended practice*: The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Ochanine, D. (1978). Le rôle des images opératives dans la régulation des activités de travail. *Psychologie and education*, 3(2), 63-72.
- Pereira, M., & Carvalhais, J. (2007). Consulting guidange and navigation information. In C. Brusque (Ed.), *The influence of In-vehicle information systems on driver behaviour and road safety, synthesis of existing knowledge cost 352* (Vol. Synthèse n°54): Les collections de l'INRETS.
- Perruchet, P. (1988). *Les automatismes cognitifs*. Liège: Mardaga.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Quimby, A. R., & Watts, G. R. (1981). *Human factors and driving performance*: Crowthorne, UK: Transport and Road Research Laboratory.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: a review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26(6), 733-750.
- Ranney, T. A., Mazzae, E., Garrott, R., Goodman, M. J. (2000). NHTSA driver distraction Research: past, present, and future.
- Rasmussen, J. (1976). Outlines of a hybrid model of the process operator. In T. B. Sheridan & G. Johannsen (Eds.), *Monitoring Behavior and supervisory control*. New York: Plenum Press.

- Rasmussen, J. (1983). Skill; rules, knowledge:signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, 13, 257-267.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering*. Amsterdam: North Holland.
- Rasmussen, J. (1987). Cognitive Control and Human Error Mechanisms. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New Technology and Human Error*. John Wiley & Sons Ltd.
- Reason, J. (1987). Generic Error-Modelling Systel (GEMS): a cognitive framework for locating common human error forms. In J. Rasmussen, Duncan, K., Leplat, J. (Ed.), *New technology and Human Error* (pp. 63-86). Chistester: Wiley.
- Reason, J. (1993). *L'erreur humaine* (J. M. Hoc, Trans.). Paris: Presses Universitaires de France.
- Reason, J. (1995). A system approach to organizational error. *Ergonomics*, 38(8), 1708-1721.
- Reason, J. T., Mycielska, K. (1982). *Absent-Minded? The psychology of mental lapses and every days errors*: Prentice-Hall.
- Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *J Exp Psychol Appl*, 6(1), 31-43.
- Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2003). Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination, and decision making. *J Exp Psychol Appl*, 9(2), 119-137.
- Redelmeier, D. A., & Tibshirani, R. J. (1997). Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *N Engl J Med*, 336(7), 453-458.
- Reed, M. P., & Green, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics*, 42(8), 1015-1037.
- Riemersma, J. B. J. (1979). Perception in traffic. *Urban Ecology*, 4, 139-149.
- Risser, R. (1985). Behavior in traffic conflict situations. *Accid Anal Prev*, 17(2), 179-197.
- Rosenbloom, T. (2006). Driving performance while using cell phones: An observational study. *Journal of Safety Research*, 37, 207-212.
- Ross, T., & Burnett, G. (2001). Evaluating the human-machine interface to vehicle navigation systems as an exemple of ubiquitous computing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55(661-674).
- Rumar, K. (1985). The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior. In L. Evans & R. Schwing (Eds.), *Human behaviour and traffic safety* (pp. 151-165). New York: Plenum.
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: late detection. *Ergonomics*, 33(10-11), 1281-1290.
- Rumelhart, D. E. (1978). The building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. Bruce, W. Brewer (Eds.). *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale: NJ: Lawrence Erlbaum.

- Saad, F., Delhomme, P., Van Elslande, P., Gauje, T., Nachtergael, C., & Picard-Dore, J. (1992). Analyse des comportements en situation réelle de conduite: le franchissement d'intersections. Paris: INRETS, 158.
- Sabey, B. E., & Taylor, H. (1980). The known risks risk we run: the highway. In R. C. Schwing & W. A. J. Albers (Eds.), *Societal risk assessment: How safe is safe enough?* New York: Plenum Press.
- Sagberg, F. (1998). *Month-by-month changes in accident risk among novice drivers.* Paper presented at the Proceedings of the 24th International Conference of Applied Psychology, San Francisco.
- Schneider, W., Dumais, S. T., & Schiffren, R. M. (1984). Automatic and control processing and attention. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 1-27). New York: Academic Press.
- Schneider, W., & Schiffren, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *A mathematical model of communication.* IL: University of Illinois Press.
- Smith, R. K., Luke, T., Parkes, A. P., Burns, P. C., & Lansdown, T. C. (2005). A study of driver visual behavior while talking with passengers, and on mobile phones. In D. De Waard, K. A. Brookhuis, R. Van Egmond & T. H. Boersema (Eds.), *A study of driver visual behavior while talking with passengers, and on mobile phones* (pp. 11-22). Maastricht, the Netherlands: Human Factors in Design, Safety, and Management. Shaker Publishing.
- Srinivasan, R., & Jovanis, P. P. (1997). Effect of in-vehicle route guidance systems on driver workload and choice of vehicle speed: Findings from a driving simulator experiment. In Y. I. Noy (Ed.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces.* New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Stanton, N. A., & Salmon, P. M. (2009). Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems. *Safety Science*, 47, 227-237.
- Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2004). Profiles in driver distraction: effects of cell phone conversations on younger and older drivers. *Hum Factors*, 46(4), 640-649.
- Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2006). Multi-tasking in the automobile. In A. Kramer, D. Wiegmann & A. Kirlik (Eds.), *Applied attention: From theory to practice* (pp. 121-133). New York: Oxford University Press.
- Strayer, D. L., Drews, F. A., & Crouch, D. J. (2006). A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Human Factors*, 48(2), 381-391.
- Strayer, D. L., Drews, F. A., & Johnston, W. A. (2003). Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving. *J Exp Psychol Appl*, 9(1), 23-32.
- Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: dual-Task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychol Sci*, 12(6), 462-466.
- Summala, H., Nieminen, T., & Punto, M. (1996). Maintaining lane performance with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human Factors*, 38, 442-451.

- Summala, H. (2000). Automatization, automation, and modeling of driver's behaviour. *Recherche Transport Sécurité*, 66, 35-46.
- Summala, H., Lamble, D., & Laakso, M. (1998). Driving experience and perception of the lead car's braking when looking at in-car targets. *Accident Analysis and Prevention*, 30(4), 401-407.
- Shinar, D., & Schechtman, E. (2002). Headway feedback improves intervehicular distance: a field study. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol 44(3), 474-481.
- Tijerina, L., Johnston, S., Parmer, E., Winterbottom, M. D., & Goodman, M. (2000). *Driver Distraction with Wireless Telecommunications and Route Guidance Systems*. Washington D.C.
- Tijerina, L., Parmer, E., & Goodman, M. J. (1998). *Driver workload assessment of route guidance system destination entry while driving: A test track study*. Paper presented at the Proceedings of the 5th ITS World Congress, Seoul, Korea.
- Treat, J. R., Tumbus, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., et al. (1979). *Tri-level study of the causes of traffics accidents: final report*. Institute for Research in Public Safety, Indiana University: Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, N.J.
- Treisman, A. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
- Tsimhoni, O., Green, P., & Waranabe, H. (2001). *Detecting and reading text on HUD: effects of driving workload and message location*. Paper presented at the ITSA 2001.
- Underwood, G., Chapman, P., Brocklehurst, N., Underwood, J., & Crundall, D. (2003). Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. *Ergonomics*, 46(6), 629-646.
- Underwood, G., Crundall, D., & Chapman, P. (2002a). Selective searching while driving: the role of experience in hazard detection and general surveillance. *Ergonomics*, 45(1), 1-12.
- Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K., & Crundall, D. (2002b). Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research Part F*, 5, 87-97
- Valot, C., Paignay, J. M., Guengant, A., Grau, J. Y., Deblon, F., Bataille, M., et al. (1989). *Modélisation de l'activité cognitive et conception d'aides au pilotage*. Paper presented at the Actes des journées PIRTTEM, 13 juin 1989.
- Van der Molen, H. H., & Bötticher, A. M. T. (1988). A hierarchical risk model for traffic participants. *Ergonomics*, 31(4), 537-555.
- Van Elslande, P. (1992). Les erreurs d'interprétations en conduite automobile: mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas? *Intellectica*, 3(15), 125-149.
- Van Elslande, P., Alberton, L., Nachtergaelé, C., & Blanchet, G. (1997). *Scénarios-types de production de "l'erreur humaine" dans l'accident de la route. Problématique et analyse quantitative*.

- Van Elslande, P., & Malaterre, G. (1996). Chercher l'erreur dans l'accident. In B. Cambon de Lavalette & M. Neboit (Eds.), *L'erreur humaine: question de point de vue?* Toulouse: Octares.
- Van Zomeren, A. H., Brouwer, W. H., Rothengatter, J. A., & Snoek, J. W. (1988). Fitness to drive a car after recovery from severe head injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69(2), 90-96.
- Victor, T., & Johansson, E. (Sous presse). Using eye movements to measure driving information loss while performing secondary tasks.
- Victor, T. W., Harbluk, J. L., & Engström, J. (2005). Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty. *Transportation Research part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 167-190.
- Whelan, M., Senserrick, T., Groeger, J., Triggs, T., & Hosking, S. (2004). *Learner driver experience project*. Monash University, 221.
- Wickens, C. D. (1984). Processing ressources in attention. In R. Parasuraman & D.R.Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). New York: Academic Press.
- Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance*. New York: Harper Collins.
- Wierwille, W. W., Hanowski, R. J., Hankey, J. M., Kieliszewski, C. A., Lee, S. E., Medina, A., et al. (2002). *Identification and evaluation of driver errors: overview and recommendations*. U. S Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Wikman, A. S., Nieminen, T., & Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width *Ergonomics*, 41, 358-372.
- Wilde, G. J. S. (1982). The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. *Risk Anal*, 2, 209-225.
- Williams, A. F. (1999). Graduated licensing comes to the United States. *Injury Prev*, 5(2), 133-135.
- Wochinger, K., & Bohem-Davis, D. (1997). Navigational preference and driver acceptance of advanced traveller information systems'. In Y. I. Noy (Ed). *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces'*

Publications

- Hamama, H. (2007). Analyse de l'activité de conduite en situation de double tâche selon les caractéristiques des conducteurs : description d'une méthode d'observation en temps réel. In G. Malaterre. P. Aknin (Eds). Rencontre des doctorants de l'axe ; « accroître la sécurité des personnes ». Les collections de l'INRETS. Actes n°116
- Pereira, M., Hamama, H., Dapzol, N., Bruyas, M.-P. & Simões, A. (2009). Simultaneous Interaction with In-Vehicle Systems: Comparison among three groups of drivers. *IET Intelligent Transport Systems journal*, 3(4): 369-378.

Pereira, M., Hamama, H., Bruyas, M.-P. & Simões, A. (2008). Effect of additional tasks in driving performance: comparison among three groups of drivers. Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, Lyon, April 3-4, 2008, pp. 239-252.

Hamama, H. & Bruyas, M. P. (2006). Telephoning while driving: Incoming calls and road context criticality. 26th International Conference of Applied Psychology, Athens, Greece, 16-21 July 2006, 1 p. - CD ROM Paper 1717.

Annexes

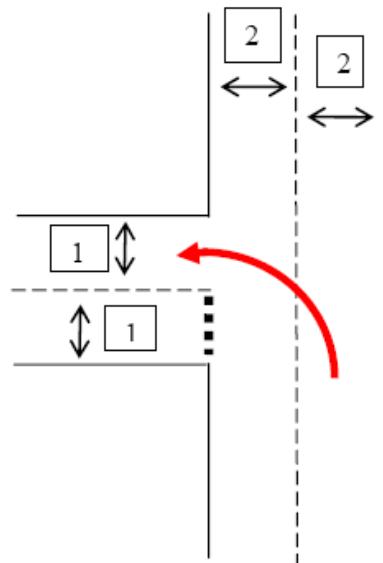
Annexe 1 : intersections analysées lors de l'expérimentation 1

Intersection 1

Il s'agit d'un « tournez à gauche » en forme de T. Le conducteur doit franchir deux voies avant d'accéder à la voie d'arrivée.

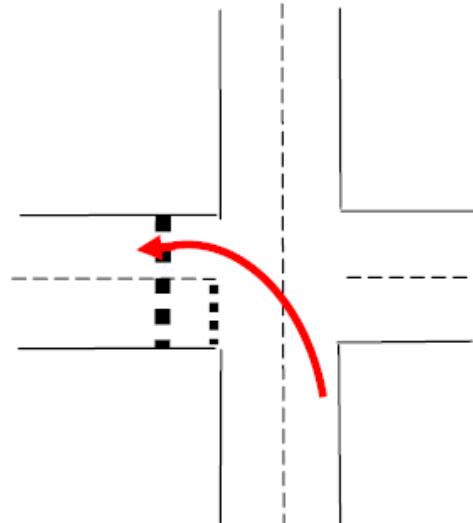
Cette intersection a été franchie vingt huit fois dont 16 en situations de tâche simple c'est-à-dire seulement en présence du système de navigation et 12 en situations de double tâche, présence de téléphone. Bien qu'il y ait un peu plus de situations de simple tâche, le nombre d'erreurs est supérieur lors de la conversation téléphonique. Notons toutefois qu'en situation de double tâche, un clignotant sur deux est mal enclenché (soit trop tôt soit trop tard). Dans un petit nombre de cas (3 intersections sur 12) il y aura des zones de regard non consultées en situation de double tâche.

Concernant la navigation, il ne semble pas y avoir de difficulté majeure. Seules deux erreurs de navigation ont eu lieu, une fois lors de la conversation téléphonique et l'autre fois avec le système de navigation seul.



Intersection 2

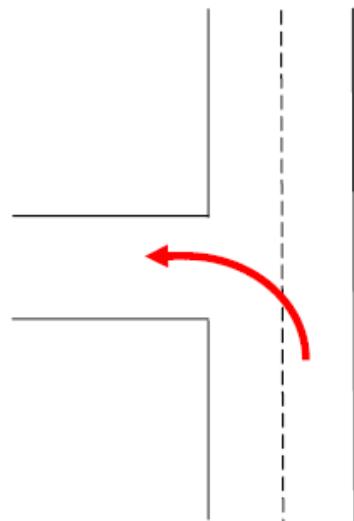
Il s'agit d'un TAG en forme de X. Cette intersection a été franchie 25 fois dont 14 en simple tâche et 11 en situations de double tâche. Les erreurs se retrouvent surtout au niveau de la mise des clignotants et un ou deux regards manquants.



Concernant la navigation, le nombre d'erreurs est légèrement supérieur en situation de double tâche. Il y a 3 erreurs de navigation.

Intersection 3

Il s'agit d'un TAG de type T. Cette intersection a été franchie 29 fois dont 14 en situation de simple tâche et 15 en situation de double tâche. Il s'agit d'une intersection génératrice de nombreuses erreurs de conduite.

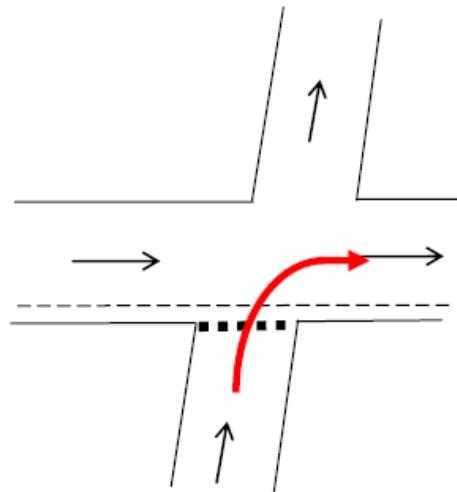


Au niveau de la navigation, les conducteurs ont davantage de difficultés à comprendre les informations du système de navigation. Il y a 3 erreurs de navigation.

Intersection 4 :

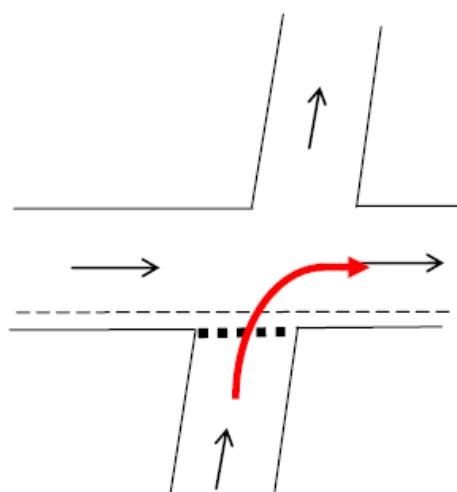
Il s'agit d'une intersection de type TAD en forme de T. Cette intersection a été franchie 32 fois dont 21 en simple tâche et 11 en double tâche. Les principales erreurs de conduites sont des défauts de signalisation.

Concernant la navigation, il n'y a quasiment pas d'erreur type hésitation et aucune erreur de navigation.



Intersection 5 :

Cette intersection a causé le plus de problème aux sujets en matière de navigation en raison de la complexité du message et de la configuration routière. Ce qui est visible par le nombre d'erreurs de navigation qui est supérieur à tous les autres types d'erreurs. Cette intersection a été franchie 30 fois dont 6 lors d'une conversation téléphonique. Quelle que soit la situation les principales difficultés se répercutent au niveau de la mise des clignotants et des comportements inappropriés.



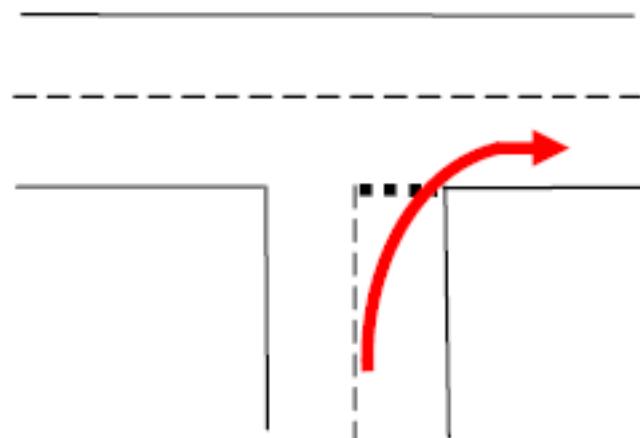
L'analyse de cette intersection est un peu gênée par le nombre élevé d'erreurs de navigation. La complexité du message et la configuration routière ne facilite pas la compréhension rapide du message. Sur les 30 franchissements de cette intersection, 17 fois les sujets ont fait une erreur de navigation avant de trouver la bonne intersection à franchir. De plus, 5 autres erreurs ont conduit à l'erreur complète c'est-à-dire que le conducteur n'a pas franchi l'intersection.

Intersection 6 :

Il s'agit d'une intersection de type TAD en forme de T. Cette intersection a été franchie 30 fois 14 en simple tâche et 16 en double tâche.

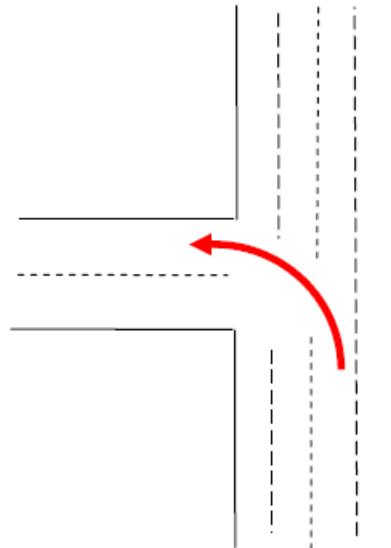
Concernant la navigation, elle ne semble pas posée de problème au conducteur.

Seulement une erreur est recensée.



Intersection 7 :

Il s'agit d'une intersection de type TAG en forme de T qui regroupe 25 franchissements ; 13 lors de la double tâche et 12 en simple tâche. C'est une intersection avec un nombre d'erreurs supérieur en situation de double tâche. En situation de double tâche les erreurs sont principalement au niveau des comportements puis au niveau de la trajectoire et de la prise d'information.

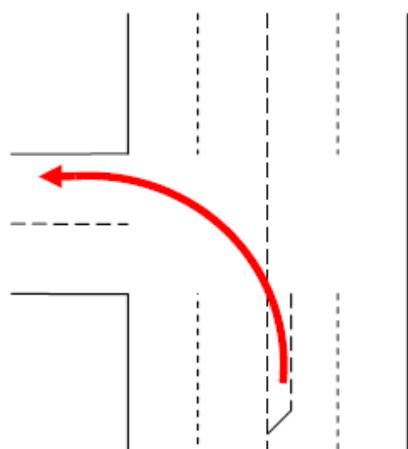


Il y a 5 erreurs de navigations dont 3 avec présence de conversation téléphonique. Autrement, les erreurs sont relatives à des difficultés de compréhension.

Intersection 8 :

Il s'agit d'une intersection de type TAG en forme de X. L'intersection a été franchie 25 fois dont 13 en tâche simple.

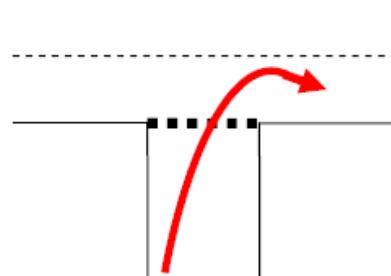
Aucune erreur de navigation et aucune mauvaise compréhension des informations du système de navigation.



Intersection 9 :

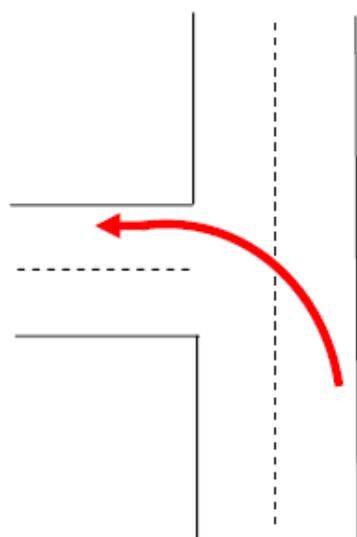
Cette intersection a un peu plus d'erreurs en situation de simple tâche. Intersection franchie 30 fois dont 15 en situation de double tâche. Au niveau comportemental, le type et le nombre d'erreurs est le même quelle que soit la situation de conduite.

Concernant la compréhension des messages de navigation, il n'y a pas difficulté majeure. Il n'y a pas d'erreur de navigation.



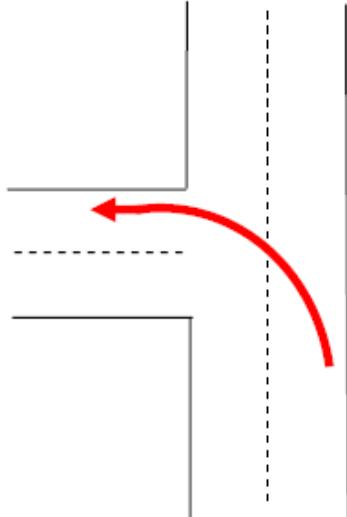
Intersection 10

Il s'agit d'un TAG en forme de T. L'intersection a été franchie 31 fois dont 17 en situations de double tâche. Un peu plus d'erreurs en situations de double tâche. Que ce soit en simple ou en double tâche, les erreurs s'articulent toujours autour des mêmes types ; c'est-à-dire au niveau comportemental et au niveau de la mise des clignotants. Il y a davantage de zones de regards négligées en situation de double tâche.



Intersection 11

Il s'agit d'un TAG en forme de T franchi 30 fois : 15 en simple tâche et 15 en double tâche. Mise de clignotant, consultation des zones importantes et mauvais comportement sont relevé en situation de double tâche.

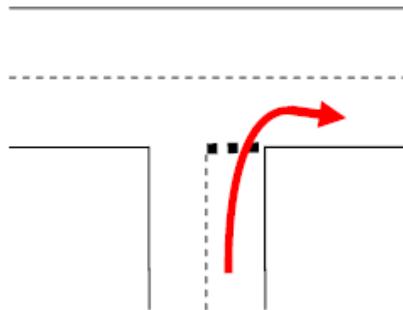


Au niveau de la navigation pas de difficulté pour les sujets. Une seule erreur de navigation est recensée.

Intersection 12

Il s'agit d'un TAD en forme de T franchi 30 fois dont 16 en double tâche. Les défauts sont essentiellement au niveau des clignotants (une mise de clignotant sur 2 est mauvaise ou inexistante en double tâche) et des comportements. Le nombre d'erreurs double en situation de double tâche mais surtout au niveau de la mise des clignotants.

Au niveau de la navigation, il n'y a pas de difficulté pour les conducteurs.



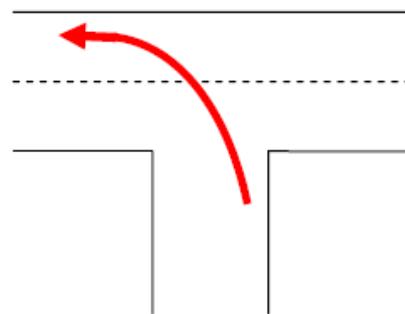
Intersection 13

Il s'agit d'un TAG en forme de T franchi 27 fois dont 13 en situation de double tâche. Les erreurs se retrouvent surtout au niveau de la mise des clignotants et du comportement (pour la tâche simple) alors que se sont les regards et la mise des clignotants qui sont défaillants lors de la conversation téléphonique.

Il n'y a pas de problème pour la compréhension des messages mais 3 erreurs de navigation sont à noter dont deux lors de la conversation téléphonique.

Intersection 14

Il s'agit d'un TAG en forme de T franchi 29 fois dont 11 en situation de double tâche. Une majorité de défauts de clignotant, que se soit en simple ou en double tâche. Un peu plus d'erreurs en tâche simple, mais avec un nombre qui augmente du fait du mauvais enclenchement des clignotants.

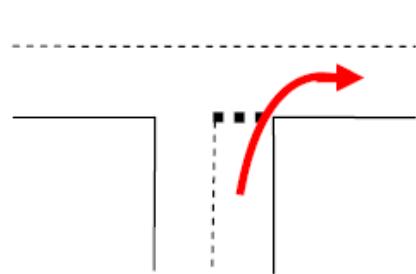


De petites difficultés de compréhension du système de navigation en situation de simple tâche. 2 erreurs de navigation dont 1 lors de la conversation téléphonique.

Intersection 15

Il s'agit d'un TAD en forme de T franchi 29 fois dont 16 en simple tâche et 13 en double tâche. Un maximum d'erreurs au niveau de la trajectoire, des regards, des comportements.

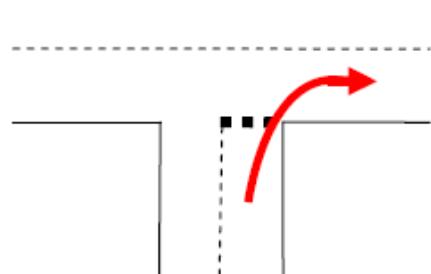
Il y a aucun problème au niveau de la compréhension des messages du système de navigation et aucune erreur de navigation pour cette intersection.



Intersection 16

Il s'agit d'un TAD en forme de T franchi 31 fois dont 16 en situation de simple tâche et 15 en situation de double tâche. Des défauts de regards sont aussi présents pour les deux situations (au nombre de 4 pour les deux).

Il n'y a aucun problème au niveau du système de navigation et aucune erreur de navigation.



Intersection 17

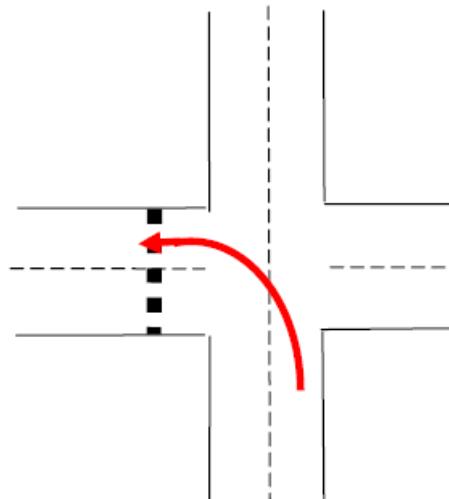
Il s'agit d'un TAD en T franchi 27 fois dont 15 en simple tâche et 12 en double tâche. Les erreurs sont essentiellement au niveau de la mise des clignotants et des comportements.

Des difficultés au niveau de la compréhension des messages pour les deux conditions. 4 erreurs de navigation dont 3 lors de la conversation téléphonique.



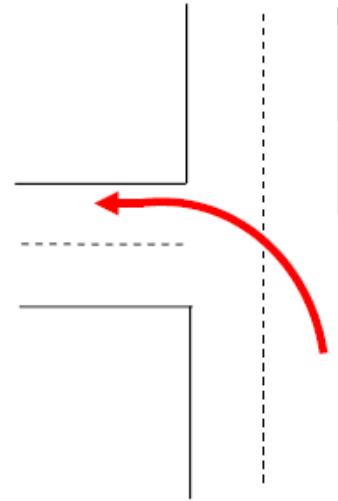
Intersection 18

Il s'agit d'un TAG en forme de X franchi 31 fois dont 16 en simple tâche et 17 en double tâche. Quasiment tous les items présentent des défauts mais surtout les clignotants, le comportement, la trajectoire, les interactions et les regards. En double tâche, c'est surtout le comportement, la trajectoire et les regards qui sont altérés.



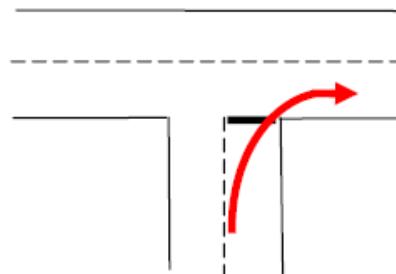
Intersection 19

Il s'agit d'une intersection en forme de T franchi 31 fois, 17 passages en double tâche et 14 en simple tâche. Trois types d'erreur majeure : les clignotants, le comportement et surtout les défauts de regards.



Intersection 20

Il s'agit d'un TAD en forme de T franchi 31 fois (16 fois en double tâche et 15 fois en simple tâche). En double, les erreurs portent essentiellement sur la mise des clignotants et des défauts au niveau des comportements.



Annexe 2 : Exemple d'intersections type utilisées lors de l'expérimentation 2



Intersection aménagée par un marquage au sol principal de type zébra



Intersection aménagée principalement par un terre-plein et un zébra



Intersection peu aménagée (marquage au sol avec une ligne au sol continue et discontinue)