



HAL
open science

Systèmes anti-collisions : capacités des conducteurs à utiliser des signaux d’alerte. Rapport final. Partie 1 : mise au point de la méthode, partie 2 : influence de l’âge sur les temps de réponses

Marc Vernet, F. Fraigneau, M. Vallat-Zakosek, D. Letisserand, P. Deleurence, F. Chautemps

► **To cite this version:**

Marc Vernet, F. Fraigneau, M. Vallat-Zakosek, D. Letisserand, P. Deleurence, et al.. Systèmes anti-collisions : capacités des conducteurs à utiliser des signaux d’alerte. Rapport final. Partie 1 : mise au point de la méthode, partie 2 : influence de l’âge sur les temps de réponses. 2011, 85p. hal-00546451

HAL Id: hal-00546451

<https://hal.science/hal-00546451>

Submitted on 14 Dec 2010

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

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

Monique VERNET
Frédérique FRAIGNEAU
Murielle VALLAT-ZAKOSEK

Daniel LETISSERAND
Philippe DELEURENCE
Françoise CHAUTEMPS

***SYSTEMES ANTICOLLISIONS :
CAPACITES DES CONDUCTEURS A
UTILISER DES SIGNAUX D'ALERTE***

Rapport final

Partie 1 : Mise au point de la méthode

Contrat DRAST n° 930027

Rapport LESCOT n° 0102
Mars 2001

RESUME

En situation d'urgence, le conducteur doit répondre à une situation inattendue, dans un espace-temps très limité. L'objectif est de mettre en place des systèmes d'alerte anticollisions pour prévenir le conducteur. Dans ce but, notre objet d'étude s'est centré sur les variations des temps de réponse au freinage des conducteurs, en attention partagée et sous contrainte de temps.

Après l'étude bibliographique, une étude expérimentale sur simulateur de conduite a été réalisée sur un petit échantillon de conducteurs jeunes, expérimentés.

Deux niveaux d'étude, concernant le contrôle cognitif (niveau de traitement de l'information) ont été mis en avant :

- * Partage de l'attention en terme de capacité (politique d'allocation de ressources) ou en terme d'habileté, selon la nature des tâches imposées. Deux modes de présentation du message d'urgence ont été testés : visuel et auditif. Il apparaît qu'en situation de simple, double et triple tâche, les temps de réponse sont significativement plus rapide avec un mode de présentation auditive.
- * Partage de l'attention d'un point de vue fonctionnel : processus contrôlés consommant des ressources attentionnelles et/ou processus automatiques permettant l'exécution simultanée de plusieurs tâches. Trois tâches indépendantes ont été combinées.

En attention partagée, les temps de réponse ne varient pas entre deux et trois tâches. Il y aurait automatisation de la tâche secondaire lors de l'augmentation du nombre d'informations à traiter simultanément.

Mots-clés : Système d'alerte anticollisions, attention partagée, situation d'urgence, temps de réponse au freinage, mode de présentation de l'information, processus contrôlé, processus automatique

Table des matières

INTRODUCTION	5
I. Partie théorique.....	8
I.1 La tâche de conduite	8
<i>I.1.1 Modélisation de l'activité du conducteur</i>	<i>8</i>
<i>I.1.2 Modélisation de la tâche de conduite</i>	<i>9</i>
<i>I.1.3 Modèle psychologique du conducteur comme traitement de l'information.....</i>	<i>10</i>
I.2 Le traitement de l'information.....	15
<i>I.2.1 Historique conceptuel</i>	<i>16</i>
<i>I.2.2 Traitement de l'information et représentation mentale</i>	<i>17</i>
<i>I.2.3 Les mécanismes de l'attention</i>	<i>18</i>
<i>I.2.4 Processus contrôlés, processus automatiques</i>	<i>20</i>
<i>I.2.5 Traitement de l'information et contrôle cognitif.....</i>	<i>21</i>
<i>I.2.6 Notions d'habitude et d'habileté</i>	<i>24</i>
I.3 Les effets du vieillissement	24
<i>I.3.1 Vieillesse psychomoteur</i>	<i>24</i>
<i>I.3.2 Vieillesse sensori-moteur.....</i>	<i>25</i>
<i>I.3.3 Vieillesse cognitif.....</i>	<i>27</i>
<i>I.3.4 Vieillesse et conduite automobile</i>	<i>28</i>
I.4 Situations d'urgence et systèmes anticollisions	29
<i>I.4.1 Les aides à la conduite</i>	<i>29</i>
<i>I.4.2 Codage et mode de présentation de l'information</i>	<i>31</i>
<i>I.4.3 Les systèmes anticollisions.....</i>	<i>33</i>
<i>I.4.4 Manœuvres d'urgences et temps de réponse</i>	<i>34</i>
I.5 Choix méthodologique	38
<i>I.5.1 La méthode de double tâche</i>	<i>38</i>
<i>I.5.2 Quel environnement ?.....</i>	<i>39</i>
II. Problématique et hypothèses.....	42

III.	Méthodologie	44
III.1	Description des tâches.....	45
<i>III.1.1</i>	<i>Tâche de réponse au message d'alerte</i>	<i>45</i>
<i>III.1.2</i>	<i>Tâche de maintien de trajectoire</i>	<i>45</i>
<i>III.1.3</i>	<i>Tâche cognitive.....</i>	<i>45</i>
<i>III.1.4</i>	<i>Interaction des tâches.</i>	<i>46</i>
III.2	Description de l'échantillon.....	46
III.3	Description du matériel utilisé	47
<i>III.3.1</i>	<i>Le simulateur de conduite.....</i>	<i>47</i>
<i>III.3.2</i>	<i>Elaboration des messages d'aide à la conduite.....</i>	<i>49</i>
<i>III.3.3</i>	<i>Description du scénario</i>	<i>49</i>
III.4	Plan d'expérimentation.....	51
<i>III.4.1</i>	<i>Variables explicatives.....</i>	<i>51</i>
<i>III.4.2</i>	<i>Variables expliquées.....</i>	<i>52</i>
<i>III.4.3</i>	<i>Variables contrôlées</i>	<i>52</i>
<i>III.4.4</i>	<i>Plan d'expérience</i>	<i>53</i>
<i>III.4.5</i>	<i>Déroulement de l'expérience</i>	<i>54</i>
IV.	Présentation des résultats.....	56
IV.1	Mise au point technique: Erreurs de mesure du temps de réponse	56
IV.2	Analyse des temps de réponse	58
<i>IV.2.1</i>	<i>Description des fichiers.....</i>	<i>59</i>
IV.3	Dépouillement des questionnaires d'évaluation subjective	67
V.	Discussion.....	68
V.1	Choix du mode de présentation	68
V.2	Attention partagée.....	71
<i>V.2.1</i>	<i>Traitement de l'information en double tâche.....</i>	<i>71</i>
<i>V.2.2</i>	<i>Traitement de l'information en simple, double et triple tâche</i>	<i>72</i>
V.3	Evaluation subjective	73

VI. Conclusion..... 75

BIBLIOGRAPHIE..... 77

TABLE DES GRAPHIQUES 81

TABLE DES TABLEAUX..... 82

INDEX AUTEURS 83

INTRODUCTION

On appelle situation d'urgence en conduite automobile, lorsqu'un événement inattendu ou inhabituel se présente à un conducteur, lui demandant un traitement de l'information et une prise de décision rapide afin d'éviter la collision. Dans cette situation, le facteur temps (c'est-à-dire la vitesse des véhicules impliqués, en fonction de la distance à l'obstacle) joue un rôle décisif, et déterminera différents comportements du conducteur pouvant être adaptés à la situation. Ainsi, par exemple un véhicule non visible préalablement, surgissant brusquement d'un croisement, représente une situation d'urgence pour un deuxième véhicule sur la voie transversale. Il doit réagir rapidement, en fonction de la distance qui le sépare de l'obstacle. Ceci sera fonction de la vitesse des deux véhicules et de la distance qui les sépare, d'où l'importance du facteur temps face à cette situation impromptue.

Nous citerons **Malaterre** (1987a), qui définit les situations d'urgence en conduite automobile en fonction de deux critères :

- * "Obligation d'agir plus vite qu'en temps normal.
- * Obligation de résoudre un problème imprévu et généralement peu courant, pour lequel les solutions adéquates ne sont pas évidentes, lorsqu'elles existent".

Pour plus de précision, nous définissons notre situation d'urgence quand il y a interaction avec un ou plusieurs usagers.

Etant donné le peu de temps disponible, des systèmes ont été conçus afin de permettre de prévenir le conducteur à l'avance de l'arrivée imminente d'un obstacle et lui donner les moyens de mieux gérer le temps disponible et de réagir. Tout le problème étant, que ces systèmes doivent aider le conducteur et non interférer avec la tâche de conduite.

Ainsi, ces systèmes anticollisions sont des systèmes d'aides en situation d'urgence qui permettent d'avertir le conducteur, sous différentes formes, en cas de danger (mauvaise visibilité, véhicule arrêté, obstacle quelconque...) sur la route. Les systèmes anticollisions ne s'appliquent pas aux situations où le conducteur seul se met en situation d'urgence, par exemple en cas de vitesse excessive, ou de problème pour négocier un virage. Le système prévient exclusivement de l'arrivée d'un obstacle et non d'une situation de conduite due à une défaillance propre au conducteur et pouvant le mettre en danger.

Ces différentes situations d'urgence ont fait l'objet d'études. Ainsi, dans un premier temps, nous avons cerner nos recherches bibliographiques sur les conséquences de ces situations d'urgence. En se basant sur les fichiers de procès-verbaux d'accidents de la route, il a été défini des comportements types revenant fréquemment, tel l'action de freiner, par exemple. Cette manœuvre n'est sûrement pas dans tous les cas la plus adéquate. Mais en situation d'urgence, on utilise le premier modèle qui se présente, même si ce n'est pas le meilleur. Ainsi, il est à remarquer des dysfonctionnements et notamment des disjonctions entre les manœuvres réalisables et les manœuvres réalisées, comme nous le verrons ultérieurement. Ceci a été vérifié expérimentalement, en simulant des situations d'urgence où survient un obstacle non attendu. En effet, on peut penser qu'en situation d'urgence, le conducteur ne recherchera pas la solution optimale, mais en fonction de l'espace-temps disponible, il essaiera d'éviter la collision, en stoppant son véhicule, par exemple. **Malaterre** (1987a) parle de crédit espace-temps : "toute durée peut en effet s'exprimer en distance, du fait de la vitesse". C'est en fonction de cette distance et de la vitesse des véhicules impliqués, que le conducteur va effectuer sa manœuvre. D'où l'importance de la gestion du temps face à cet imprévu. Cette approche nous permet de montrer l'état actuel des recherches sur les systèmes anticollisions.

Les situations d'urgence étant à la base des accidents du fait de leur caractère inhabituel, les systèmes anticollisions se sont développés pour tenter de pallier à ceci. L'objectif est d'avertir le conducteur suffisamment tôt pour pouvoir éviter l'obstacle en ayant la réponse adaptée à la situation, et sans que l'apparition du signal n'interfère avec la tâche de conduite.

- * Evaluer les systèmes anticollisions commence par l'analyse du comportement du conducteur en situation d'urgence, basée sur les données de temps de réponse. Des systèmes d'aide sont actuellement en cours de recherche ou existent déjà sur le marché. Nous distinguons deux catégories d'aide.
- * Les systèmes anticollisions faisant appels à des capteurs pour détecter l'obstacle et en alerter le conducteur sous forme visuelle ou auditive. Dans ce cas le conducteur doit traiter l'information et y répondre. Il y a donc perception du signal, par le conducteur, d'où l'importance du codage de cette information (forme, couleur, longueur) et de son mode de présentation. Puis il y a traitement de cette information, ce qui nous réfère aux notions de charge mentale, d'attention et de mémoire de travail. La signification de l'information présentée doit être connue d'un lexique de la mémoire du conducteur. Enfin, il y a réponse du conducteur avec adaptation de son comportement à la situation présente.
- * Un deuxième groupe d'aide faisant aussi appel à un système de capteurs a été conçu. Ces systèmes agissent automatiquement sur le véhicule, en le freinant. Il n'y a donc pas prise en compte du conducteur puisque dans ce cas, rien n'est dépendant de son comportement.

Nous nous intéresserons à la première catégorie d'aide en situation d'urgence, qui met en cause les capacités des conducteurs à traiter l'information présentée en situation d'urgence. Plus spécialement, notre objectif sera de déterminer la courbe enveloppe des temps de réponse incompressible et en-dessous de laquelle, il est préférable d'installer un système automatique, le temps de réaction du conducteur étant trop long.

Dans cette étude, nous ne nous centrerons donc pas sur la ou les manœuvres d'urgence réalisées afin d'éviter un conflit probable, mais essentiellement sur les temps de réponse des conducteurs sur la pédale de frein.

Il est à prendre en compte que nous sommes dans un monde vieillissant : les progrès technologiques, médicales font qu'on vit plus vieux, en meilleure santé. Il y a donc apparition d'une nouvelle population de conducteurs de plus en plus nombreuses, ayant des moyens financiers et donc susceptibles d'acheter ces systèmes. Nous présenterons les effets du vieillissement sur les conducteurs automobiles d'un point de vue perceptif et cognitif et moteur.

Afin de mieux cerner les dimensions se référant à la psychologie cognitive, appliquées au domaine de la conduite automobile, nous définirons tout au long de la partie théorique les modèles développés en conduite automobile et les concepts théoriques ayant permis leur élaboration. Il est certain qu'en situation d'urgence, le conducteur va court-circuiter les différentes étapes de traitement de l'information, en utilisant des raccourcis. Il se pose ici, le problème de savoir à quel moment le conducteur utilise des processus automatiques ou des processus contrôlés, sachant que cette différence importe beaucoup sur la consommation de ressources attentionnelles, et donc sur la capacité des conducteurs en situation d'attention partagée.

Cette démarche explique les répétitions possibles entre les parties appliquées et les parties fondamentales.

I. PARTIE THEORIQUE

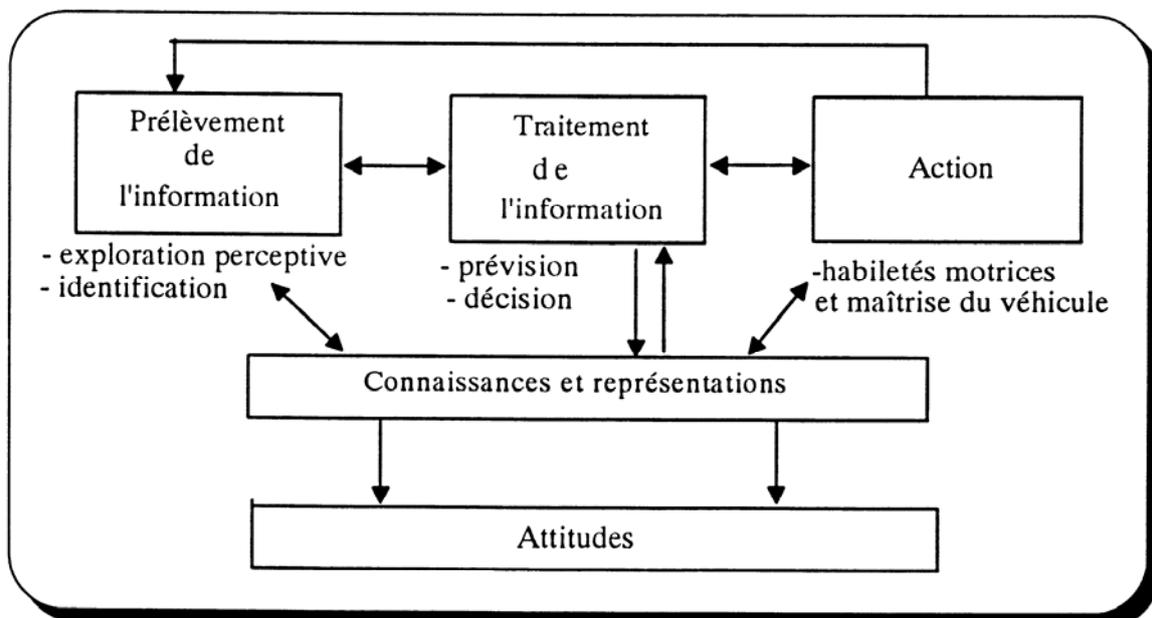
I.1 La tâche de conduite

Conduire une automobile, c'est effectuer un déplacement dans le temps et dans l'espace. C'est une tâche complexe qui demande un contrôle permanent du véhicule dans un environnement changeant constamment. Le rôle du conducteur est de s'adapter à ces changements en régulant sa vitesse et en maintenant sa direction par rapport à l'environnement routier. En résumé, la tâche de conduite demande le contrôle et la maîtrise du véhicule et un ajustement continu à l'environnement et à la trajectoire (Neboit, 1982 ; Saad, 1987).

Dans la tâche de conduite, la tâche prescrite correspond à ce que le conducteur doit faire dans les règles du code de la route, ce sont les règles formelles. La tâche effective correspond à ce que le conducteur fait réellement, ce sont les règles informelles (Tétard, 1987). En effet, le conducteur connaît les règles formelles nécessaires à la conduite. Mais, afin de s'adapter à toute situation, il doit élaborer des stratégies qui lui sont propres et qui dépendent de ses connaissances et expériences antérieures.

I.1.1 Modélisation de l'activité du conducteur

L'activité principale, dans la tâche de conduite est la prise et le traitement d'informations nécessaires au conducteur pour évoluer dans l'environnement. Afin de synthétiser ceci, nous présentons un schéma, couramment cité, des activités mises en jeu dans la conduite (Neboit, 1979 ; Saad, 1987).



Graphique n° 1
Les activités mises en jeu dans la conduite (Neboit, 1979)

Ce schéma montre les différentes étapes nécessaires au conducteur pour adapter son véhicule à l'environnement, en fonction des informations prélevées, mais aussi des connaissances et représentations propres au conducteur. Les informations prélevées sont la plupart du temps visuelles. L'activité d'exploration visuelle lui permet de recueillir les informations pertinentes (panneaux de signalisation, autres véhicules, etc.), mais elles peuvent être aussi auditives (klaxon). La première phase consiste donc en la détection de ces informations.

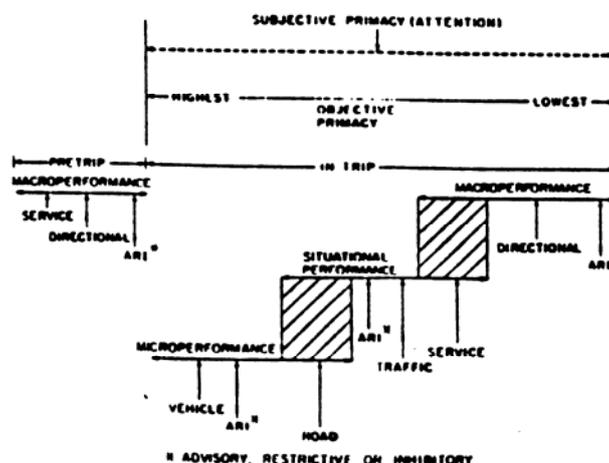
Puis, il y a **identification** de ces informations, c'est-à-dire reconnaître l'indice prélevé. Il y a un filtrage de l'information en fonction de la représentation fonctionnelle du conducteur. Ce filtrage se fait à partir de ses connaissances et expériences antérieures. Ce sont des informations stockées en mémoire à long terme. La représentation fonctionnelle du conducteur oriente sa prise d'information.

Enfin, il y a **prise de décision et action**. Le niveau d'expérience du conducteur joue un rôle très important dans la sélection des informations et la prise de décision, que ce soit tant au niveau de la vitesse d'exécution qu'au niveau de la stratégie mise en place.

Ces trois phases essentielles peuvent être comparées au **modèle de Gagne (Flores, 1990)** sur les trois niveaux d'activité perceptive. Cette modélisation du comportement du conducteur permet de rendre compte des différentes phases nécessaires à son adaptation. Elle est assez intéressante pour montrer les mécanismes cognitifs mis en jeu dans la tâche de conduite.

I.1.2 Modélisation de la tâche de conduite

Le modèle présenté ci-dessous est de **King et Lunenfeld (1971, in Midtland, 1993 ; Fastenmeier, Gstalter, 1992)**. La tâche de conduite se décompose en trois niveaux : le niveau de contrôle ou microperformance, le niveau directionnel ou performance situationnelle et le niveau de navigation ou macroperformance. Ce modèle fait référence à l'article de **Rasmussen (1983)** où il décrit un modèle du comportement selon le niveau de perception de l'information en tant que signal, signe ou symbole. Cette différence de perception de l'information, selon ces trois niveaux, est due au contexte (c'est-à-dire quelle information cherche l'opérateur et dans quel but), et non à son codage.



Graphique n° 2
Description de la tâche de conduite (King et Lunenfeld, 1971)

Le **niveau de contrôle** comprend toutes les activités automatisées. Les sous-tâches principales sont le contrôle de la vitesse et la direction du volant. Le conducteur a donc essentiellement besoin d'un feed-back visuel de la position de son véhicule, afin de pouvoir rectifier la direction du volant et réguler sa vitesse. Selon les catégories de performance humaine élaborées par **Rasmussen** (1983), la microperformance est un "comportement basé sur les habiletés" : "**Le comportement basé sur l'habileté représente les performances sensori-motrices pendant les activités, qui suivant l'établissement d'une intention, prennent place sans contrôle conscient, en tant que modèles de comportements, réguliers, automatiques et hautement intégrés**". L'information est perçue comme un **signal** spatio-temporel.

La tâche de **performance situationnelle** concerne toutes les interactions avec les autres conducteurs et l'environnement routier. Elle est fonction des facteurs environnementaux. Un exemple de sous-tâche peut être le dépassement d'un véhicule ou suivre un véhicule tout en conservant les distances de sécurité. A ce niveau, la performance est fonction de la perception du conducteur et de sa capacité à anticiper. Il a une activité en temps partagé tout comme au niveau de contrôle. La différence est liée à l'activité cognitive, selon la classification de **Rasmussen** (1983), le niveau directionnel est un "**comportement basé sur les règles**", l'activité est contrôlée par des règles mémorisées acquises antérieurement. Ce niveau est fonction du degré d'apprentissage du conducteur. Il s'agit d'une action à "but orienté" où celui-ci ne sera atteint qu'après une série de correction par feed-back. L'information est perçue comme un signe provenant d'expériences précédentes. En aucun cas le **signe** ne peut être utilisé pour élaborer de nouvelles règles en fonction de la situation.

Le dernier niveau ou **macroperformance** regroupe toutes les activités concernant la planification du trajet, le choix des itinéraires (lecture d'une carte routière par exemple). Dans la plupart des cas, le conducteur aura une conception plus ou moins vague de la direction à prendre en fonction de ses connaissances (les routes qu'il connaît). Ce sont des activités contrôlées qui consomment des ressources, de l'attention et demandent du temps. En nous référant à **Rasmussen** (1983), c'est un "**comportement basé sur les connaissances**", l'information présentée est entièrement symbolique ou verbale.

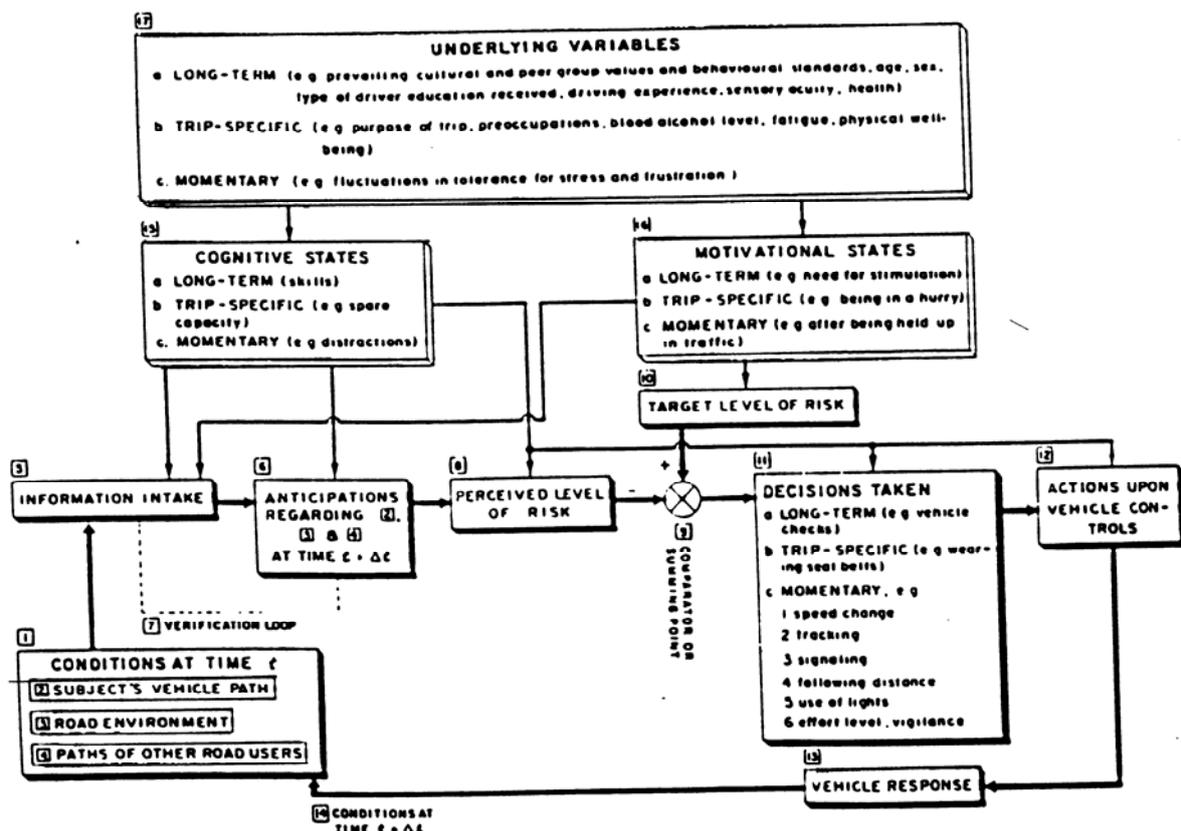
Ces trois niveaux ne sont pas successifs mais interagissent entre-eux. Ce modèle est intéressant de par le fait qu'il montre bien quels mécanismes cognitifs sont en jeu en fonction du rôle de l'information perçue soit signal, signe ou symbole.

I.1.3 Modèle psychologique du conducteur comme traitement de l'information

On décrit usuellement la tâche de conduite comme une tâche de traitement de l'information. Les modèles conducteur-véhicule-environnement se divisent en trois grandes catégories : "compensation du risque", "seuil de risque" et "détournement du risque". La différence entre ces trois classes se centre sur l'évaluation du niveau de risque par les conducteurs automobiles, sachant que selon **Michon** (1985, in **Fastenmeier**, 1992) ce niveau de risque représente la variable contrôle de la qualité de la performance de conduite.

Le **modèle de compensation de Taylor** (1964, 1976 in Fastenmeier, 1992) part de l'hypothèse de base que le conducteur essaie d'établir une balance entre ce qui arrive sur la route et le niveau de risque perçu. Selon lui, le produit entre le risque perçu et la vitesse est constant. Le conducteur compense donc sa vitesse en la réduisant ou en l'augmentant linéairement au niveau de risque perçu, si bien qu'effectivement le produit des deux reste constant puisqu'ils varient en symétrie.

Wilde avec son modèle cognitif et de la motivation du comportement du conducteur (1982, in Fastenmeier, 1992) introduit un niveau de risque subjectif accepté dépendant du conducteur. Selon lui, le conducteur accepte un certain niveau de risque : "les usagers de la route se comportent d'une telle manière que la somme des dommages propres, des personnes blessées et tuées survenant dans l'usage de la route est directement proportionnel à la somme du temps passé sur la route multiplié par le niveau de risque accepté dans cette activité en retour des bénéfices sur le comportement du conducteur dans cette activité" (Wilde, 1982, in Fastenmeier, 1992, p 49). Le seuil de risque accepté est donc fonction de l'expérience du conducteur, du nombre d'heures de conduite, mais aussi de ses connaissances personnelles sur les risques d'accidents en voiture. Toutes ces connaissances sont proportionnelles au seuil de risque accepté par le conducteur.



Graphique n° 3
Modèle du comportement du conducteur de Wilde (1982)

D'après le modèle de **Wilde**, la situation de conduite dépend :

- * du trajet du véhicule du conducteur,
- * de l'environnement routier,

* du trajet des autres véhicules.

Les prises de décision du conducteur et ses actions sur le contrôle du véhicule sont donc le résultat d'un traitement interne de l'information concernant ces trois éléments. Il est de plus à prendre en compte le niveau d'expérience de conduite, l'âge mais aussi l'état émotif et cognitif du conducteur.

Trois variables essentielles reviennent à tous les niveaux dans le modèle de Wilde qui sont premièrement, la variable à long terme, c'est-à-dire ce qui est constant chez le conducteur (âge, sexe, type d'éducation, expérience de conduite, santé, acuité sensorielle). La deuxième variable concerne tous ce qui est spécifique au voyage, à l'itinéraire (préoccupations, taux d'alcool dans le sang, fatigue, bien-être physique). Enfin, la troisième variable concerne ce qui est momentané, immédiat comme le niveau de stress. **Wilde** décompose donc le conducteur en trois niveaux imbriqués, le long terme étant la dimension de la personnalité du conducteur, c'est une constante. La deuxième variable est liée à l'ensemble du trajet : Comment à cette période déterminée, le conducteur se sent-il ? Quel est son état actuel physique et psychique ? La troisième variable correspond à l'état du conducteur à l'instant t, au moment de la prise de décision, en fonction du niveau de risque perçu. C'est en fonction de ces trois niveaux temporels que le conducteur a une conception du seuil de risque, le prévoit et le perçoit. Ce modèle est intéressant du fait qu'il prend en compte toute l'expérience passée du conducteur, ses acquis mais aussi son état à l'instant t, l'association des deux pouvant expliquer pourquoi le conducteur a t'il fait telle action à tel moment. Ce qui dans l'absolu permet de comprendre les variations de comportement chez un même individu et entre conducteurs ayant le même niveau d'expérience de conduite (kilomètres parcourus par an).

Nous présenterons ensuite le **modèle du seuil de risque de Näätänen et Summala** (1976, in Fastenmeier, 1992) : Selon eux, le risque perçu dépend du niveau d'importance subjectif et des conséquences de cet événement pour le conducteur. Si le risque perçu est égal à zéro, le conducteur agit comme s'il ne courait aucun risque réel (dans des conditions de trafic normal). Ce modèle reprend aussi le niveau d'expérience de conduite, les attentes du conducteur, sa perception de la situation, ses motivations et sa vigilance. Ces facteurs ont tous leur influence sur la prise de décision du conducteur en fonction du risque perçu, et le degré d'importance qu'il attribue au risque.

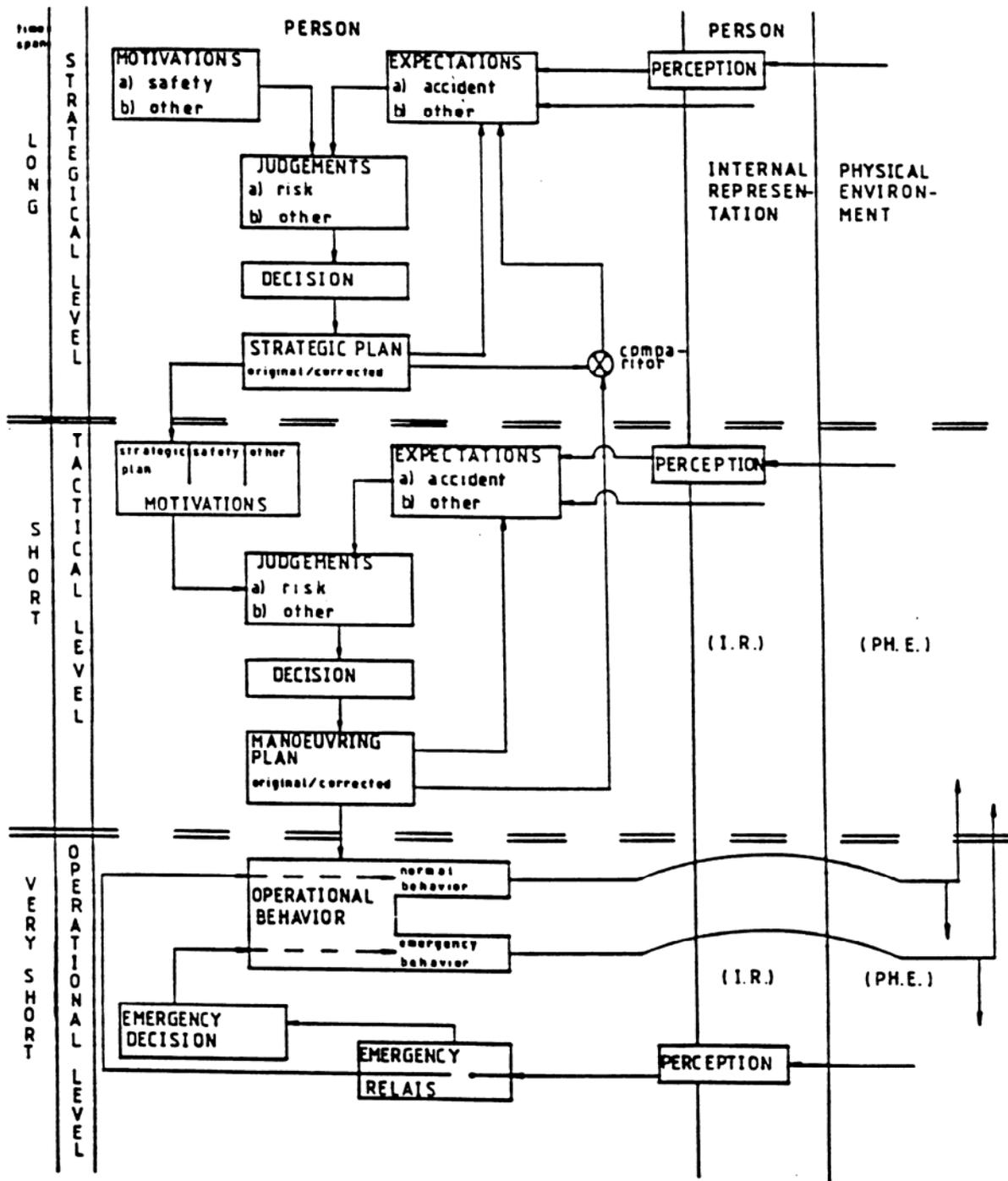
Les modèles sur le seuil de risque perçu sont une approche intéressante pour essayer de comprendre le comportement du conducteur. Il est à retenir que pour deux situations de conduite à peu près identiques, le comportement du conducteur variera à chaque fois. En effet, la prise de décision du conducteur sera fonction de variables stables et définies comme : l'âge, le sexe, l'expérience de conduite, mais aussi de toutes les variables concernant l'état émotif du conducteur. Il s'agit de voir leur importance sur le comportement, les temps de réponse et manœuvres choisies. Varient-elles en fonction de ces variables fluctuantes ou non ? La connaissance de ceci, nous permettra de modéliser le comportement du conducteur en situation d'urgence.

Fuller (1984, in Fastenmeier, 1992), **Van der Molen et Bötticher** (1986, in Fastenmeier, 1992) ont développé des **modèles d'évitement du risque**. Selon **Fuller**, plus le conducteur a d'expérience de conduite, plus il est motivé pour éviter l'obstacle.

Van der Molen et Bötticher ont développé un modèle à trois niveaux, qui prend en compte un ordre hiérarchique des tâches de trafic (niveau de tâche stratégique, tactique et opérationnelle), impliquant des processus psychologiques différents. Ceci permettra d'effectuer des calculs en terme de comportement alternatif, de probabilité subjective des événements. Ils définissent trois niveaux qui sont fonction de la distance à l'obstacle :

- * **Le niveau stratégique.** A ce niveau, le conducteur est encore loin de l'obstacle, il élabore un plan stratégique en fonction de ses motivations et attentes qui lui permettent de donner un jugement sur la situation présente.
- * **Au niveau tactique,** il se rapproche de l'obstacle, il élabore un plan de manoeuvre, en fonction de ses attentes et motivations provenant du niveau antérieur.
- * Enfin, au **niveau opérationnel,** il est proche de l'obstacle, soit en situation d'urgence, il agit en fonction de ce qui est perçu et du plan de manoeuvre.

Ce modèle s'intéresse plus particulièrement à la succession d'étapes en fonction de la distance à l'obstacle. Les précédents modèles pouvaient être appliqués à toute situation de conduite, alors que celui-ci est spécifique de la description du comportement du conducteur en situation d'urgence pour éviter la collision. Les notions de distance loin, courte et très courte sont relativement vagues, au niveau du temps de réponse imparti au conducteur par rapport à la distance. L'imbrication des différents niveaux exprimés par **Wilde** apparaît plus conceptualisable qu'une réelle distinction comme telle.



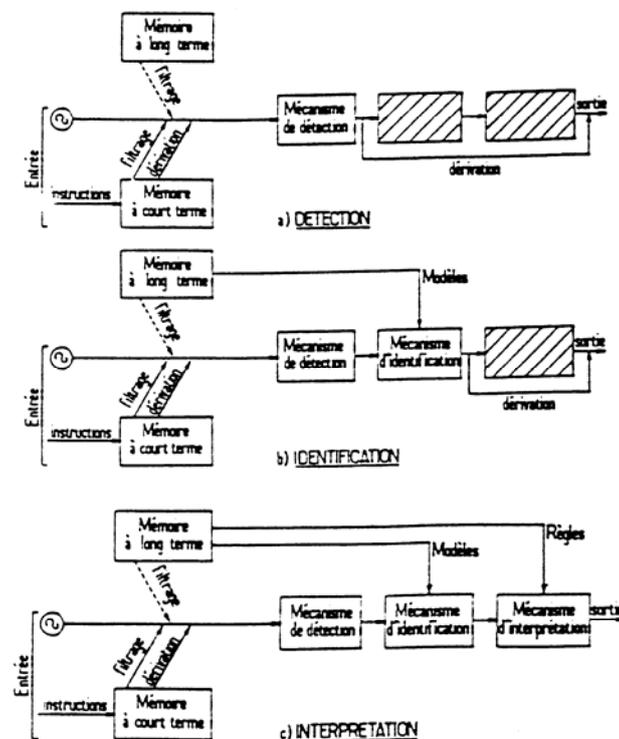
Graphique n° 4
Modèle d'évitement du risque de Van der Molen et Bötticher (1986)

I.2 Le traitement de l'information

Le temps de réponse du conducteur est fonction du temps imparti au temps de traitement de l'information et donc de la profondeur de ce traitement. Plusieurs concepts sont à prendre en compte, tel que la distribution des ressources, l'image opérative, mais aussi les différentes étapes nécessaires au traitement de l'information selon la nature du stimulus. Ainsi, nous verrons dans des situations particulières, tel la situation d'urgence qui implique une contrainte de temps, toutes les étapes ne sont pas nécessaires.

Nous avons donc vu précédemment les modèles de comportement du conducteur et les mécanismes cognitifs mis en jeu lors de l'activité de conduite. Nous allons maintenant définir plus en détails ces divers processus. Il est difficile de dissocier la prise et le traitement de l'information. La prise d'information est une activité perceptive, la perception étant "l'ensemble des mécanismes de codage et de coordination des différentes sensations élémentaires visant à leur donner une signification" (**Sperandio**, 1988). On distingue trois étapes dans la prise d'information qui définissent le **Modèle de Gagne** :

- * la détection qui correspond à la découverte d'une stimulation sensorielle dans un bruit de fond,
- * la discrimination ou identification permet d'associer une signification au signal détecté,
- * l'interprétation permet d'attribuer une signification à l'information détectée. Elle dépendra de l'intelligibilité du signal et de la signification que l'opérateur accorde au message véhiculé. C'est l'activité perceptive la plus élevée. Cette interprétation est liée à la représentation mentale de l'opérateur vis-à-vis des signaux émis par le système.



Graphique n° 5
Modèle de Gagne

I.2.1 Historique conceptuel

A/ La théorie de l'information

Cette théorie mathématique a été définie par **Shannon et Weaver** en 1948 (in Winkin, 1984), afin de quantifier l'information en terme de bit. Cette théorie est basée sur l'hypothèse qu'il existe chez l'homme une capacité limitée de traitement d'information. L'opérateur humain est donc considéré comme un canal limité de transmission de l'information muni d'une entrée et d'une sortie. La quantité d'informations obtenues à la sortie est proportionnelle, de façon linéaire à la quantité d'informations disponibles à l'entrée. Les composants du processus de communication défini par Shannon et Weaver sont de l'ordre de trois :

- Le niveau 1 constitue le niveau syntaxique, niveau technique. Il correspond au choix des ensembles de signes qui sont utilisés pour transmettre le message et au choix du canal de transmission du message (visuel, auditif, tactile, olfactif).
- Le niveau 2 correspond au niveau sémantique soit la signification du message. A ce niveau, on interprète le sens du message émis par l'émetteur à travers le comportement du récepteur. Il est nécessaire de pouvoir faire la comparaison entre le sens perçu par le récepteur et l'intention émise par l'émetteur dans son message.
- Le niveau 3 correspond au niveau pragmatique, c'est l'étude de la perception de la compréhension du message par le récepteur. Ce niveau est aussi appelé niveau d'efficacité dans le sens où on estime le succès avec lequel le sens du message parvenu au récepteur provoque bien l'effet escompté.

Ainsi, au départ il y a production d'une information qui va subir une transformation. Elle est transformée en message. Ce message est émis par un émetteur sous la forme d'un signal. Le signal est transporté à l'intérieur d'un canal. Au niveau du récepteur, le signal est à nouveau transformé en message. Durant la transmission le signal peut être perturbé par du bruit (**Bateson et coll.**, 1984).

Les limites de ce modèle sont, qu'il ne considère que les aspects quantitatifs de l'information (nombre de bits émis et reçus) et il ne prend pas en compte les stratégies de filtrage de l'information.

B/ La théorie du canal unique

Broadbent définit le processeur humain comme un canal unique de traitement par lequel passe toutes les informations. Il se base sur la théorie de l'information de Shannon et Weaver défini ci-dessus. Mais, il postule l'existence d'un filtre. Il se pose la question de l'emplacement de ce filtre. Si ce filtre est placé relativement tôt dans le traitement de l'information, ce sont les caractéristiques physiques des signaux qui sont prises en compte. Il laisse passer l'information structurelle. S'il est placé plus loin, le filtre va laisser passer des informations de type sémantique, donc plus abstraites.

Des expériences ont été faites pour essayer de voir où était situé ce filtre. Nous citerons l'expérimentation de **Lackner et Garrett** (1973, in Tardieu, 1993). Le sujet entend sur le canal prioritaire, une phrase ambiguë, du style : "La critique de Pivot était impitoyable". La tâche du sujet est de donner une paraphrase de la phrase entendue. Sur le canal non prioritaire, on lui fait entendre trois phrases différentes :

- Pivot s'est fait descendre
- Pivot n'a pas mâché ses mots

- Je n'ai pas regardé l'émission (phrase neutre).

On lui fait entendre ainsi seize phrases, en partant de l'hypothèse que le sujet traite que ce qu'il entend sur le canal prioritaire. Mais si on admet que ce qui se passe sur le canal non prioritaire intervient dans le traitement de la phrase ambiguë, la réponse du sujet devrait être influencée. C'est ce qui se passe dans seize cas sur seize. L'information donnée sur le canal non prioritaire est traitée quand bien même le sujet est incapable de rapporter ce qu'il a entendu.

Les résultats laissent croire que si ce filtre existe, il laisse passer de l'information de type sémantique. Il serait donc placé assez loin dans les étapes de traitement de l'information.

C/ La théorie des ressources multiples

La théorie des ressources a été à l'origine définie par **Kahneman** (1973, in Eyrolle et Pacquiot, 1989). Elle postule que l'opérateur humain possède un ensemble limité de ressources qui sont allouées aux différents canaux, en fonction des tâches à exécuter. La consommation de ressources va dépendre du temps disponible pour l'exécution de la tâche et de sa complexité.

Lorsque deux tâches doivent être exécutées simultanément, les ressources sont partagées entre ces deux tâches. Il a ainsi été défini une "**politique d'allocation de ressources**" qui est fonction des canaux sensoriels utilisés. Si ces deux tâches utilisent des canaux différents, elles seront accomplies simultanément à condition que la somme totale de ressources requises ne dépassent pas le somme globale de ressources disponibles. Dans le cas contraire, il y a interférence, la tâche prioritaire pourra être exécutée au détriment de la tâche secondaire qui sera détériorée. L'allocation de ressources est fonction de cette priorité. Par contre, si les deux tâches utilisent le même canal sensoriel, elles seront accomplies successivement, c'est un traitement sériel.

Dans le cadre de cette théorie, on peut donc penser qu'un signal d'alerte auditif serait plus approprié puisqu'il n'interférerait pas ou moins avec la tâche de conduite qui est à dominante visuelle.

La théorie des ressources multiples (**Wickens**, 1984, in Eyrolle et Pacquiot, 1989), part du fait qu'il n'existe pas une somme globale de ressources mais plusieurs réservoirs de ressources. Chaque réservoir a une capacité limitée, il est spécialisé en fonction du traitement à effectuer, soit un canal perceptif, un canal moteur et un canal cognitif. De même, dans ce cas, l'allocation de ressources dépend de la priorité d'une tâche sur les autres.

I.2.2 Traitement de l'information et représentation mentale

Tout traitement de l'information est fonction de l'image opérative de l'opérateur qu'il a de la tâche à effectuer.

En citant le modèle de Gagne, il a été mis en évidence la notion de représentation fonctionnelle et donc d'image opérative définie par **Ochanine**. Ochanine, psychologue russe, a posé l'hypothèse que ce que voyait l'opérateur n'est pas seulement le résultat d'un conditionnement à la Pavlov mais est constitué par les objectifs de l'opérateur et l'opérateur lui-même. Il y a interaction entre les constituants fondamentaux de l'opérateur et les buts de l'opérateur. Les constituants de l'opérateur sont sa formation, son expérience, sa personnalité, etc. Ses objectifs sont les raisons pour lesquelles il regarde cet objet. Ainsi, l'image opératoire est individuelle, elle dépend de cette double interaction chez chaque opérateur.

"L'image opérative est une structure informationnelle spécialisée qui se forme au cours de telle ou telle action dirigée sur des objets". (Sperandio, 1988, p 54)

L'image mentale est une construction dans l'esprit d'une réalité extérieure plus ou moins perçue. C'est une reconstruction dépendante de l'intelligence et des mécanismes de raisonnement. Cette image est déformée, ceci est dû à notre capacité limitée à traiter l'information donc l'image porte sur certains points seulement. Elle porte sur un nombre de points trop restreints, c'est une image lacunaire. Laconisme, adéquation à la tâche et déformation fonctionnelle sont les trois propriétés de l'image opérative.

Le traitement de l'information passe donc par l'intermédiaire d'image opérative. C'est cette dernière qui dirige la prise d'information. L'image opératoire va permettre de construire des stratégies adaptatives et un filtrage sélectif de l'information. Cette image est forcément déformée de la réalité puisqu'elle correspond à une hypertrophie de l'information pertinente.

I.2.3 Les mécanismes de l'attention

Détecter un signal implique la mise en place du mécanisme de l'attention. L'attention est une notion qui a trait au fonctionnement psychologique et non à sa structure.

Le concept d'attention est essentiel dans le traitement de l'information pour comprendre les mécanismes de prise d'information : en fonction de quels critères, de quelles contraintes ? Dans les années soixante, l'attention était considérée comme une structure du système, c'est-à-dire des registres sensoriels. Puis l'attention a été considérée comme un processus en tant qu'elle mobilise des ressources du système pour les diriger vers le traitement à faire. Enfin, en fonction de l'évolution des théories sur le traitement de l'information, l'attention a été définie comme un processus modulaire, comprenant autant de réservoirs qu'il y a de tâches.

Selon **Richard** (1980), l'attention a un statut fonctionnel puisqu'elle gère la concurrence des mécanismes attentionnels. Elle s'occupe de "l'organisation des files d'attente pour le traitement", selon ce que nous avons expliqué précédemment sur la priorité de la tâche, son degré d'automatisation, la pertinence du stimulus.

L'attention peut être abordée du point de vue de la vigilance, de l'attention sélective et de l'attention partagée.

Le terme de **vigilance** fait référence à des aptitudes mentales très différentes. Il y a de très grande différence entre la vigilance d'éveil c'est-à-dire la faculté qui consiste à appréhender un signal ou un changement dans l'environnement, non prévisible et le fait de réagir à ce signal. La vigilance varie au cours du nyctémère. Beaucoup d'études ont été réalisées sur le problème de vigilance, en particulier dans tout ce qui concerne le travail posté, nocturne et à haut risque (centrale nucléaire).

L'**attention sélective** correspond à une recherche active et orientée. L'opérateur cherche une information précise lui permettant de réaliser son objectif. L'attention sélective est fonction du choix du sujet et du stimulus. De par le fait que le sujet possède une capacité limitée, de même cette attention est limitée. Il y a sélection des stimuli pertinents en fonction de la tâche à exécuter. L'opérateur humain possède donc un filtre attentionnel qui filtre les informations parvenant au sujet en fonction de leur importance et en fonction de l'information à laquelle on veut prêter attention. Il existe un mécanisme sélecteur de l'attention qui dirige les processus attentionnels vers les aspects pertinents de l'information nécessaires pour réaliser la tâche.

L'**attention partagée** entre plusieurs sources d'informations correspond donc à la capacité à traiter plusieurs signaux simultanément.

Chaque opérateur humain possède un réservoir de ressources attentionnelles dans lequel il va puiser en fonction des demandes d'attention de la tâche. Les ressources disponibles vont lui permettre d'exécuter la tâche. Le problème est de comprendre comment l'attention est dirigée pour réaliser deux tâches à la fois. On suppose donc que si un sujet arrive à exécuter deux tâches en même temps, c'est que l'une des tâches doit être automatisée, donc plus facile à réaliser. **Shiffrin et Schneider** (1977, in Camus, 1988) ont étudié les processus automatiques et contrôlés, dont nous citons l'expérience ci-après.

L'attention partagée entre plusieurs tâches est fonction du niveau de difficulté, du niveau d'automatisation et de la similitude entre ces tâches. C'est en fonction de ces trois aspects qu'il y aura plus ou moins d'interférence. Ainsi, plus l'une des tâches est automatisée et consomme peu ou pas de ressources, moins il y a d'interférence entre ces tâches. De même, les canaux sensoriels nécessaires à l'exécution de ces tâches ont une importance selon s'ils sont différents ou non.

Les limites de l'attention partagée entre deux tâches sont donc le fait que l'information parvient sur différents canaux sensoriels ou non, à quel intervalle de temps, et à la complexité de l'information. Ceci entraîne des difficultés à la saisie et à l'encodage des informations. Un deuxième ensemble limitant le traitement de l'information en attention partagée est liée aux conditions d'élaboration et d'émission de la réponse (saturation de la mémoire) et aux relations entre les conditions d'encodage et d'élaboration de la réponse (chevauchement des opérations) (**Richard**, 1980).

Une autre contrainte à retenir en attention partagée est la vitesse de traitement de l'information appelée période réfractaire. La **période réfractaire** en psychologie correspond à : on a deux stimuli (S1, S2), S1 correspond à une lumière et une réponse R1 qui consiste à appuyer sur un bouton quand la lumière apparaît. S2 correspond à un son, quand il y a émission du son, le sujet répond en appuyant sur une pédale (R2). Dans la condition A, l'ordre d'apparition est S1-R1 puis S2-R2. Les temps de réponse sont de 150 millisecondes pour R1 et R2. Dans la condition B, S2 apparaît avant R1. On remarque qu'il faut un temps supplémentaire au sujet pour répondre à R2, 40 millisecondes en plus, soit un temps de réponse de 190 millisecondes. La période réfractaire est de 40 millisecondes, elle correspond à la période où le système attentionnel ne peut pas travailler sur les deux stimuli en même temps. Ceci montre que le système attentionnel est limité, le sujet ne peut faire attention qu'à un seul stimulus à la fois.

I.2.4 Processus contrôlés, processus automatiques

Les notions de processus automatiques et contrôlés ont été définies par **Shiffrin et Schneider** (1977, in Tiberghien, 1990 ; Tardieu, 1993 ; Camus, 1988). Ils ont cherché à définir les différents processus qui permettent d'arriver à la satisfaction d'une tâche. Le sujet a un ensemble cible qui lui est présenté. Celui-ci disparaît, puis on présente successivement au sujet un point de fixation, un masque visuel et un ensemble de présentation. Le sujet doit dire si dans cet ensemble de présentation, il y a ou non des éléments qu'il avait en mémoire de la première planche. Les masques visuels permettent d'éviter la mémoire visuelle. Ces manipulations durent pendant quinze heures.

Le sujet travaille dans deux conditions, soit la condition rôle constant où les stimuli sont toujours des lettres et les distracteurs sont des chiffres. Soit la condition rôle variable où les stimuli et distracteurs sont tous deux des lettres. Les expérimentateurs vont faire varier la taille de l'ensemble cible et de l'ensemble de présentation.

Les résultats :

- * Dans le cas du rôle constant, il n'y a pas d'augmentation du temps de réponse en fonction de la taille de l'ensemble. Il s'agit d'un processus automatique qui ne demande pas de ressources attentionnelles. C'est une recherche en parallèle, c'est-à-dire que le sujet peut traiter simultanément plusieurs éléments puisque quand la taille de l'ensemble augmente, ceci n'a aucun effet sur le temps de traitement. C'est une recherche visuelle, consistant en un balayage exhaustif.
- * Dans le cas du rôle variable, il y a augmentation du temps de réponse en fonction de la taille de l'ensemble. C'est un processus de type contrôlé qui demande de l'attention et implique une recherche sérielle et autoterminante, c'est-à-dire que c'est une recherche en mémoire. Il existe bien deux modes de traitement de l'information.

Cet exemple montre la différence entre processus automatique et contrôlé :

- * le processus automatique n'utilise pas de ressources cognitives et ne réclame pas d'attention. Il implique une recherche en parallèle et exhaustive :

"Tout processus qui n'utilise pas de ressource générale, non spécifique disponible pour les autres traitements est automatique". (**Schneider, Dumais et Shiffrin**, 1984 in Camus, 1988).

- * le processus contrôlé est un traitement qui consomme des ressources attentionnelles et qui est donc limité par la capacité centrale du système de traitement de l'information. C'est un processus conscient qui implique une recherche sérielle et autoterminante. Il permet de garder les informations pertinentes en mémoire de travail (**Camus**, 1988).

I.2.5 Traitement de l'information et contrôle cognitif

Rasmussen (1983) définit trois niveaux de contrôle de l'information, en fonction de comment elle est perçue, c'est-à-dire sa signification pour le sujet selon le fait que cette information est connue ou non et fait appel à des schémas connus. Il définit trois niveaux de perception de l'information, cette différence de perception étant due au contexte et non au codage de l'information. Plus précisément, l'opérateur percevra l'information en fonction du but dans laquelle il la recherche :

- * un niveau basé sur l'habileté, l'information est traitée en tant que signal. Ce sont toutes les activités sensori-motrices, ce niveau fait référence à des activités automatiques. Lors de l'apparition du stimulus, il y a observation et activation puis exécution.
- * un niveau basé sur les règles, l'information est traitée en tant que signe. Il y a identification de l'information présentée et mise en place de procédures. Il y a référence à des expériences précédentes, faisant appel à des règles mémorisées antérieurement.
- * un niveau basé sur les connaissances, l'information est traitée en tant que symbole. Il s'agit d'une situation inconnue, il y a interprétation de l'information, évaluation et définition de la tâche.

Leplat (1985) présente un modèle adapté de **Rasmussen** (1980). L'intérêt de ce modèle est de mettre en évidence des raccourcis possibles, qui permettraient de traiter l'information plus rapidement. Ainsi, sous contrainte de temps et en situation d'urgence, on peut penser que le conducteur utilisera ces courts-circuits. De plus, il est à prendre en compte l'expérience de conduite, un conducteur expérimenté pourra plus facilement court-circuiter des étapes et exécuter l'action plus rapidement.

Tout le problème est de connaître le niveau de contrôle des tâches et leur gestion lors de leur interaction. En effet, en fonction de la nature des processus impliqués et aussi du degré d'expérience des conducteurs, le résultat sur l'exécution de deux tâches (par exemple) sera totalement différent.

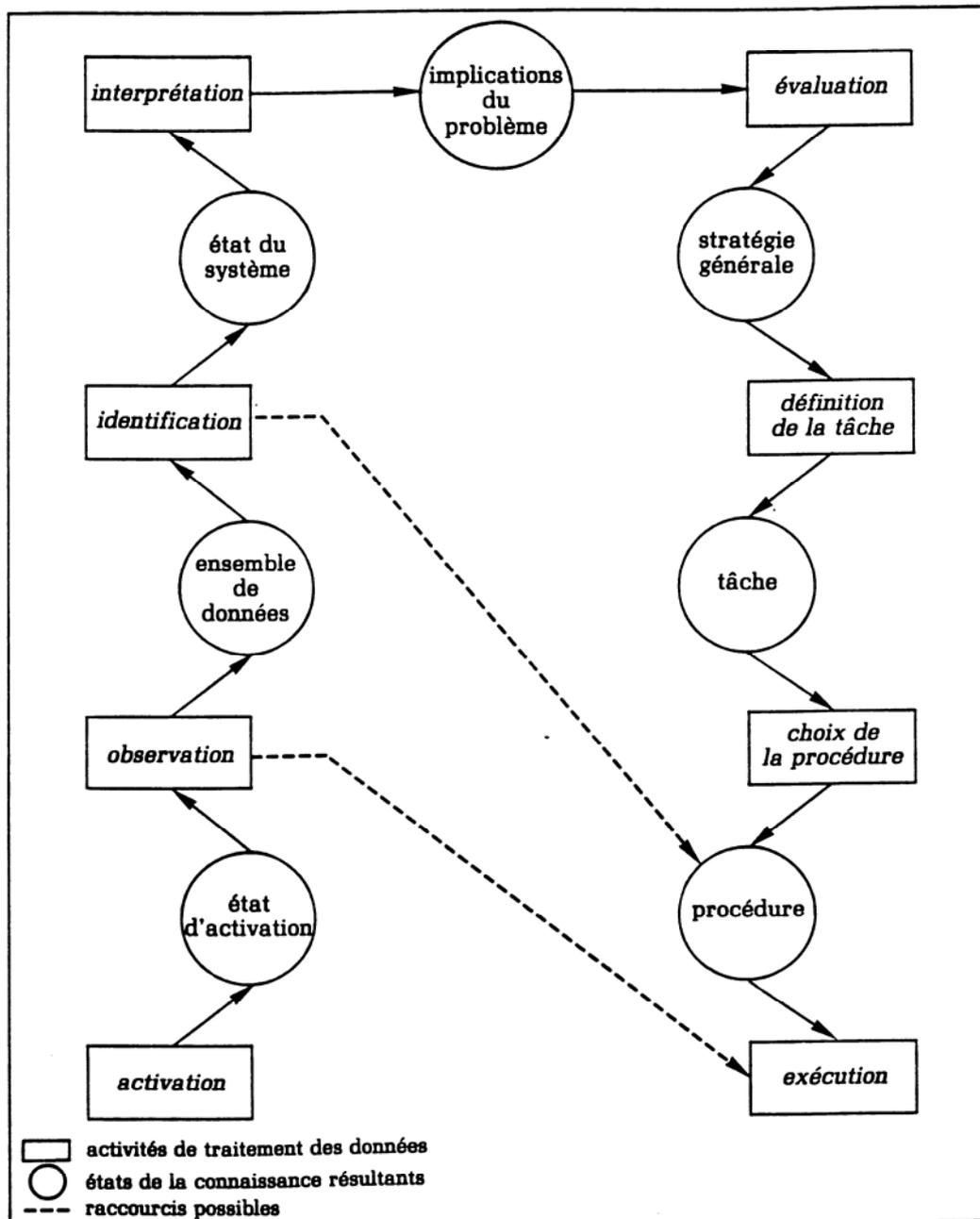
Ainsi, si le conducteur utilise des raccourcis, on peut dire que son fonctionnement sera basé sur l'habileté, c'est-à-dire : activation + observation = exécution. Si nous sommes au niveau de l'habileté, toujours en référence à **Rasmussen** (1980), nous sommes face à un comportement automatique, ne consommant pas de ressources attentionnelles.

Tout le problème se situe à ce niveau, c'est-à-dire la nature des processus mis en jeu sous contrainte de temps, et nous amène à nous poser la question de l'automatisation des processus impliqués, lors de l'exécution d'une ou plusieurs tâches.

Cette question est essentielle dans le cadre de la situation d'urgence, puisque le temps de réponse du conducteur sera modifié en fonction du temps de traitement de l'information nécessaire. Il y a tout avantage, en terme de temps de réponse, à donner au conducteur un signal faisant appel à un comportement automatique. Ou bien, qu'il le devienne après apprentissage.

En conclusion, si nous nous rappelons notre objectif, en référence aux théories précédemment exposées, nous cherchons à évaluer le temps perception-réponse du conducteur à des signaux d'alerte en situation d'urgence. Ce temps de réponse variera en fonction de la nature du stimulus présenté. Nous choisirons donc un stimulus faisant appel à un traitement de bas niveau, c'est-à-dire ne présentant pas de complexité dans sa lecture, compréhension et signification. L'intérêt serait qu'après reconnaissance du message, il y ait mise en place d'un processus d'automatisation, ne consommant pas de ressources attentionnelles et n'interférant donc pas avec la tâche de conduite.

De plus, comme le souligne **Amalberti** (1991) : "En situation d'urgence, le conducteur ne va pas chercher la solution optimale mais plutôt éliminer toutes les solutions impossibles". La contrainte de temps, oblige donc bien le conducteur à utiliser des raccourcis, d'où tout l'intérêt du modèle de **Leplat-Rasmussen** (1985).



Adapté de Rasmussen, 1980.

Graphique n° 6
Modèle d'une séquence de décision pour l'analyse de l'erreur
(Leplat, modèle adapté de Rasmussen, 1985)

I.2.6 Notions d'habitude et d'habileté

Nous définirons un autre courant d'approche, en référence à un article de **Matthews et Sparkes** (1993). Dans cet article, ils citent **Duncan** (1990, in Matthews et Sparkes, 1993), où selon lui, l'interférence en double tâche ne serait pas due à la limitation de ressources mais plutôt "à la charge des buts multiples". Ainsi, la performance d'un conducteur tiendra compte de son expérience et de son degré de pratique. Il est donc à prendre en compte la familiarité des conducteurs avec le type de stimuli, pouvant modifier la charge et donc le niveau d'interférence entre tâches (tâche de traitement du signal et tâche de conduite).

En situation de conduite, le conducteur est plus familiarisé à traiter des informations visuelles, tel que les panneaux routiers, pictogrammes sur le tableau de bord. Il est habitué à traiter toutes ces informations, concernant l'environnement routier, conjointement à l'exécution de la tâche de conduite. Au contraire, une information auditive est plus rare, on peut donc penser que le niveau d'interférence avec la tâche de conduite sera plus élevé.

Ainsi, en situation d'urgence, cette notion d'habitude et donc d'habileté (la répétition permettant d'acquérir l'habileté) est une variable importante, puisqu'on peut penser que dans ce cas, c'est-à-dire sous contrainte de temps, le conducteur fera plus vite référence à des schémas connus et acquis. Dans cette optique, une information auditive apparaîtrait trop "distractrice" et donc perturbatrice. Ceci nous amène à nous poser la question, en terme de capacité attentionnelle, en fonction de l'habileté et non de l'allocation de ressources.

I.3 Les effets du vieillissement

Nous présenterons brièvement les effets du vieillissement au niveau biologique, sensori-moteur et cognitif. Ce bref aperçu théorique met en évidence toutes les caractéristiques de cette population et ses particularités qui ne doivent pas être négligées lors de la conception de systèmes embarqués dans les véhicules.

On constate une augmentation de la population des conducteurs âgés. Ainsi une enquête réalisée en 1988 (**Waller**, 1991) a révélé que 12 % de la population aux Etats-Unis était âgée de 65 ans et plus et que cette proportion allait en augmentant.

Les personnes âgées sont donc une nouvelle population à prendre en compte. Ce sont des conducteurs automobiles, mais leurs capacités fonctionnelles que ce soit motrices, cognitives ou sensorielles ne sont pas identiques au reste de la population des conducteurs. Il reste à définir quels sont les changements avec l'âge, leur importance et leur prise en compte dans les systèmes d'aide à la conduite. Quelles sont les exigences requises par la tâche de conduite et quelles sont les capacités des personnes âgées ? Il faut raisonner en terme d'aptitudes fonctionnelles afin de voir les stratégies compensatrices mises en place par cette population.

I.3.1 Vieillesse psychomotrice

Au **niveau biologique**, le vieillissement se traduit par diverses transformations cellulaires, moléculaires et tissulaires (**Laville**, 1989), tel que :

- * une réduction du nombre et de la valeur fonctionnelle des cellules spécialisées,
- * une altération des fibres du collagène,
- * une limitation des cellules non spécialisées,

* une altération des défenses immunologiques

Il est à noter que le vieillissement cellulaire influe sur l'involution morphologique du cerveau, dont le poids diminue de façon croissante à partir de 60-70 ans.

Le vieillissement de ces fonctions de base a des effets sur les capacités fonctionnelles des organes auxquels elles appartiennent. On constate, plus précisément des modifications de tout l'appareil circulatoire (augmentation de la pression artérielle), une diminution de l'appareil ventilatoire, une variation de la sécrétion des sucs digestifs... (**Scherrer**, 1981). La diminution des capacités ventilatoires entraîne une réduction de la capacité de travail musculaire.

Toutes ces modifications de l'ensemble des divers organes et appareils permettant le fonctionnement du corps humain sont à prendre en compte pour expliquer les variations de comportement des personnes âgées du reste de la population.

Au **niveau fonctionnel**, on constate une diminution de la force musculaire et donc des performances physiques. A partir de quarante ans, il y a fragilisation de l'appareil locomoteur et du système cardio-vasculaire. Les gestes et postures deviennent moins précis. Plus précisément, il y a modification du squelette humain dès l'âge de trente ans (**Scherrer**, 1981), mais la diminution du volume osseux s'accroît après quarante ans et varie en fonction du sexe, elle est d'environ 3 % par an chez l'homme et de 8 % chez la femme.

Ainsi, comme le souligne **A. Pauzié** (1990), le conducteur vieillissant est caractérisé par "un ralentissement de l'activité psychomotrice", entre autre. Mais ce ralentissement est à prendre en compte dans l'explication de différences de temps de réponses à des signaux entre conducteurs jeunes et âgés.

Ces quelques exemples, mettent en évidence que l'ensemble du corps vieillit et se modifie tout au long de la vie avec une progression plus rapide à partir d'un certain âge.

I.3.2 Vieillesse sensori-moteur

Au **niveau sensoriel**, il y a une diminution progressive des capacités visuelles et auditives. Ces dégradations surviennent progressivement, en général à partir de quarante ans et vont en augmentant surtout passé soixante ans.

Au niveau visuel, on constate une diminution de la capacité de régénération des cellules du cristallin. Ceci entraîne une réduction de la quantité de lumière parvenant à la rétine, une baisse du pouvoir d'accommodation et une moins grande résistance à l'éblouissement (**Marquié**, 1989a, 1989b, **Pauzié**, 1989). "Les altérations des capteurs avec l'âge diminuent leur capacité à discriminer les signaux physiques de l'environnement" (**Laville**, 1989). Les personnes âgées ont besoin d'une plus grande quantité de lumière pour percevoir les contrastes. De plus, à partir de soixante ans, il est nécessaire de prendre en compte la taille des informations présentées, pour l'implantation de systèmes dans les véhicules. Ainsi **Weston** (1949, in **Marquié**, 1989b) constate qu'une augmentation de la taille des signaux permet une nette amélioration de la perception et de la lisibilité des informations.

Marquié (1989b) rapporte que la distance de visibilité des panneaux routiers, en vision nocturne diminue de 23 à 35 % entre des conducteurs de 62 à 74 ans et des conducteurs de 18 à 24 ans.

Différentes enquêtes ont été menées afin de mettre en évidence les besoins des usagers âgés. Une enquête a été réalisée par **Carp** en 1971 aux Etats-Unis (in Pauzié et coll., 1992a) qui liste les problèmes des conducteurs âgés. Ainsi 82 % ont des difficultés visuelles, 75 % constatent un ralentissement des réponses motrices, 62 % ont des problèmes d'ankylose et d'invalidité, 55 % ont du mal à s'adapter à de nouvelles situations.

Une autre enquête de **Yee** en 1985 (in Pauzié et coll., 1992a) concernant les difficultés de lecture des panneaux de signalisation routière a mis en évidence que 25 % des conducteurs âgés montrent des difficultés de lecture. Ces difficultés sont dues à l'emplacement du panneau pour 42 % de la population interrogée et à la clarté des informations présentées.

Une dernière enquête réalisée par **Pauzié, Alauzet et Vernet** (1992b) sur un échantillon de 1 033 personnes dont 764 conducteurs, a permis de réaliser une "auto-évaluation subjective" des conducteurs sur leurs capacités fonctionnelles et habitudes de conduite. Au niveau visuel, chez les conducteurs 28 % sont myopes et 30 % presbytes. De plus 18 % des 25-34 ans ont une mauvaise vision binoculaire contre 40 % des plus de 65 ans.

Les données du rapport **STAMMI** (1992) sur les capacités fonctionnelles des conducteurs montrent que :

- * 48 % des plus de 65 ans et 52 % des 55-64 ans sont presbytes contre 3 % des 25-34 ans (ce qui est normal, la presbytie apparaissant avec l'âge).
- * 23 % des 25-34 ans sont myopes contre 12 % des 55-64 ans.
- * 71 % des 18-24 ans n'ont aucun problème visuel contre 9 % des 55-64 ans et 8 % des plus de 65 ans.

Au niveau auditif, le vieillissement entraîne une baisse de l'acuité acoustique, principalement dans les fréquences aiguës et une diminution de la discrimination des sons. De plus les temps de réponse à des stimuli auditifs augmentent avec l'âge. **Cheng** (1991, in Vernet, 1993) montre que les temps de réponse à un stimuli auditif varient de 250 millisecondes à 20 ans, à 370 millisecondes à 90 ans. Il est à retenir que la vitesse des temps de réponse diminue de 40 millisecondes entre 20 et 70 ans et de 70 millisecondes entre 70 et 90 ans. Plus on est âgé, plus la dégradation est forte.

Lors de la même enquête présentée précédemment, réalisée par **Pauzié, Alauzet et Vernet** (1992b) sur l'auto-évaluation subjective des conducteurs sur leurs capacités fonctionnelles, il apparaît que 45,3 % des plus de 65 ans ont des difficultés d'audition permanente et 18,7 % très fréquente contre 34,1 % de difficultés permanentes et 63 % très fréquente chez les 25-34 ans. De plus, cette enquête réalisée dans le cadre du programme **STAMMI** (1991, 1992 in **Vernet**, 1993) rapporte que 22 % des conducteurs se plaignant de déficits auditifs ne conduisent jamais plus de trois heures et 23 % ne conduisent jamais sur un trajet non connu. Selon elle, les difficultés auditives peuvent être palliées en augmentant le rapport signal/bruit, en augmentant la richesse fréquentielle des messages et en prévoyant une richesse visuelle de l'information. Les résultats de l'enquête (**STAMMI**, 1992) sur les caractéristiques des capacités fonctionnelles, en fonction de l'âge, montrent que 12 % des plus de 65 ans et 13 % des 55-64 ans ont des problèmes auditifs contre 2 % des 25-34 ans et 5 % des 35-44 ans.

I.3.3 Vieillessement cognitif

Au **niveau du traitement de l'information**, on remarque une diminution de la vitesse de traitement tant au niveau de la prise d'information (dégradation du système visuel et auditif). De plus, il y a un ralentissement du fonctionnement du système nerveux central, la vitesse de conduction de l'influx nerveux est plus lente. **Welford** (1977, in Marquié, 1989a) démontre par l'intermédiaire d'une tâche de tracking que les personnes âgées ont besoin de plus de temps pour transformer l'information visuelle perçue, en mouvement.

Les stratégies de prise et traitement de l'information, ainsi que les performances se modifient avec l'âge. Plus on augmente une charge de travail, plus le sujet jeune va adopter une stratégie économique, en prenant par exemple moins d'information visuelle, au contraire de la personne âgée, pour laquelle une redondance lors de la prise d'information est nécessaire. Mais plus il y a de redondance, moins il y a de rapidité dans la prise d'information (**Welford**, 1964). La personne âgée est donc moins efficace, pour cela, elle met en place des stratégies compensatoires. Il y a une augmentation du temps de traitement de l'information et du nombre d'informations traitées. Mais, ceci n'apparaît pas lorsque la tâche présentée est connue du sujet et se déroule dans un environnement familier (**Pauzié**, 1989).

La **mémoire** devient plus fragile (pertes de mémoire) et présente des défaillances lors de rappel d'informations mémorisées. Les personnes âgées font appel plus systématiquement à la mémoire à long terme, la mémoire à court terme étant plus touchée par les processus de vieillissement. L'affectation de la mémoire n'est pas sans modifier les processus de prise de décision, tant au niveau de la compréhension que de la vitesse de traitement de l'information, notamment sous contrainte temporelle forte.

En rapport au modèle de Gagne, les personnes âgées passent directement au stade d'interprétation, au lieu de rester au stade de l'identification. Il y a une augmentation de la charge mentale et donc fragilisation.

Au **niveau de la vigilance**, il a été constaté des modifications du sommeil (Miles et coll., 1980 ; Webb, 1982 ; Garma, 1984 in **Laville**, 1989). Ceci se traduit par une augmentation des réveils nocturnes, une tendance à se coucher plus tôt et une réduction des stades profonds.

Des expérimentations entre des groupes de sujets jeunes et âgés montrent des différences de la capacité attentionnelle, particulièrement lorsqu'il s'agit d'effectuer des tâches concurrentes simultanément (Talland, 1962 ; Wright, 1981, in **Marquié**, 1989a). Les personnes âgées mettent donc en place des stratégies de compensation, le problème est de savoir si ces stratégies peuvent s'adapter dans des situations d'urgence, c'est-à-dire sous contrainte de temps, en situation d'attention partagée.

De plus, on constate que l'attention sélective diminue avec l'âge (Walsh et Prasse, 1980, in **Pauzié**, 1989).

Marin-Lamellet (1993) a réalisé une expérimentation en laboratoire dont le but était d'étudier les modifications des capacités perceptive-motrices dues au vieillissement, en situation d'attention partagée. Deux groupes de vingt sujets ont été choisis, selon des critères d'âge : un groupe de 24 à 33 ans et un groupe de 52 à 66 ans. Les tâches étaient : une tâche de tracking et une tâche où il était demandé de répondre à différentes flèches s'affichant sur un deuxième écran. Les résultats obtenus montrent que les personnes âgées sont moins performantes que les jeunes bien qu'ils s'améliorent tout de même avec l'apprentissage. En situation d'attention partagée, il y a une dégradation plus importante à la tâche de tracking que pour le groupe des jeunes. En conclusion, selon **Marin-Lamellet** (1993), les personnes âgées peuvent effectuer une tâche simple, mais ont beaucoup plus de difficultés à partager leur attention entre deux tâches simultanées, elles effectueraient plutôt un traitement sériel qu'un traitement en parallèle. Il nous faudra tenir compte de ces résultats, en situation d'urgence, les travaux de **Marin-Lamellet** (1993) ayant été réalisés sans contrainte de temps.

I.3.4 Vieillesse et conduite automobile

L'étude de **Simms** (1992) porte sur les caractéristiques et pratiques routières de 269 conducteurs âgés de plus de 70 ans, au Royaume-Uni. Au niveau de l'utilisation du véhicule, les conducteurs âgés évitent de conduire pendant les heures de pointe (62 %), dans les centres villes (32 %) et ne prennent pas les parkings à étage (52 %). Ils prennent leur voiture essentiellement pour des petits trajets, mais 80 % s'en servent au moins une fois par mois, pour aller voir de la famille et 55 %, une fois par semaine. Par contre 42 % des conducteurs n'effectuent jamais de longs trajets, 16 % ne prennent jamais leur véhicule la nuit, le plus souvent pour des raisons de visibilité (49 %). Les pratiques routières se modifient donc avec l'âge, les personnes âgées préférant conduire dans les situations qu'elle jugent optimales pour elles.

Le rapport final **STAMMI** (deliverable n° 3, 1992) nous renseigne sur les habitudes de conduite des conducteurs français en fonction de la tranche d'âge. Ainsi, il apparaît que 87 % des plus de 65 ans renoncent effectivement à la conduite, contre 51 % des 25-44 ans. Il en ressort que les personnes de plus de 55 ans ne désirent pas conduire en cas de mauvais temps (85 % des plus de 65 ans, lorsqu'il y a du brouillard et 79 % des 55-64 ans). Au niveau des kilomètres parcourus par an, les distances réduisent progressivement en fonction de l'âge. Voici un extrait des données du rapport :

Kilomètres parcourus/an	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65
2 000 à 7 500	16 %	21 %	20 %	40 %	31 %	42 %
7 500 à 12 500	15 %	16 %	25 %	7 %	28 %	24 %
17 500 à 30 000	15 %	24 %	18 %	12 %	11 %	7 %

Tableau n° I
Nombre de kilomètres parcourus par an par les conducteurs français
(STAMMI, 1992)

Nous constatons donc que dès 45 ans, les conducteurs français parcourent moins de kilomètres, nous n'avons pas cité la classe des 18-24 ans dont 25 % font moins de 2 000 kilomètres par an, ce qui s'explique du fait qu'une majorité est conducteur débutant. Cette diminution peut s'expliquer par les effets du vieillissement, vus précédemment (moteur, sensoriel, cognitif), entraînant une fatigue plus rapide et moins de confiance en soi.

En ce qui concerne les accidents de la route, **Gourlet et Fontaine** (1992) ont étudié ce sujet spécifiquement pour les personnes âgées. La population âgée de plus de 65 ans représente 14 % de la population. En se basant sur les données d'accidents, ils constatent que les plus de 65 ans représentent la catégorie d'âge où les conséquences corporelles sont les plus graves : 6 % des accidentés âgés sont tués contre 3 % pour le reste de la population. Ces chiffres prennent en compte les accidents concernant les piétons et les vélos. Le portrait type du conducteur de 65 ans et plus est : sexe masculin, conducteur confirmé, non alcoolique. Ses trajets concernent plus particulièrement les courses ou loisirs mais aussi des trajets hors départements (les plus de 65 ans ont une moyenne annuelle de 8 900 kilomètres contre 13 400 kilomètres pour la classe d'âge des 30-64 ans). Les accidents se produisent le plus souvent de jour et aux intersections. Leur problème se centre donc surtout au niveau des problèmes de détection transversale (**Fontaine, Gourlet, Malaterre**, 1993).

Au niveau de la responsabilité, pour l'ensemble des accidents, les plus de 65 ans sont présumés responsables dans 68 % des cas contre 59 % pour l'ensemble des conducteurs, ces chiffres étant nettement supérieurs pour les accidents en intersection et hors agglomération 77 % sont présumés responsables contre 49 % pour l'ensemble des conducteurs.

En bref, si l'on considère le nombre d'accidents de la route chez les personnes âgées, leur taux est relativement faible (**Waller**, 1991 ; **Marquié**, 1993). Par contre, on constate une augmentation du niveau de risque calculé au kilomètre parcouru.

Les résultats de ces différentes enquêtes sont à prendre en compte lors de la conception et l'implantation de systèmes d'aide à la conduite, de même que les particularités de cette population, que ce soit au niveau sensoriel, cognitif ou physiologique. Les modifications qu'entraînent le vieillissement ne doivent pas défavoriser cette population, elle n'a pas à s'adapter aux autres conducteurs. Sa spécificité, ses caractéristiques sont des critères décisifs dans la démarche de conception.

I.4 Situations d'urgence et systèmes anticollisions

I.4.1 Les aides à la conduite

Les aides à la conduite sont conçues pour assister le conducteur, en lui fournissant les informations nécessaires à ses besoins. Il est pour cela important d'étudier le comportement du conducteur automobile dans diverses situations afin d'évaluer ses besoins. Quelles informations sont pertinentes à tel moment ? Comment doit-on les présenter afin qu'elles aident le conducteur sans le perturber ? etc. Notre objet étant les situations d'urgence, nous reporterons dans cette partie les données bibliographiques concernant le comportement du conducteur dans cette situation. Mais avant nous allons définir plus précisément la notion d'aide à la conduite.

Malaterre (1992), nous propose comme définition : "**Une aide à la conduite est un dispositif qui assiste le conducteur dans la réalisation d'une sous-tâche de conduite en prenant en charge certains aspects ou en doublant certaines fonctions**".

La conception de ces aides passe par l'étude du couple conducteur/véhicule, d'une analyse des besoins soit à partir de l'analyse des procès-verbaux d'accidents, soit à partir d'une analyse de la tâche. L'analyse des accidents permet de mettre en évidence qu'est ce qu'il aurait fallu pour l'éviter, quelle était l'information manquante ?

Le projet de recherche européen Prométhéus a mis en évidence les facteurs d'efficacité des aides à la conduite, qui sont à prendre en compte lors de l'élaboration (**Malaterre, 1992**) :

- * **l'acceptabilité** du système par les conducteurs afin qu'ils utilisent effectivement cette aide. Il est à savoir que si l'information présentée est différente du jugement du conducteur, il suivra son propre avis.
- * **la charge mentale**, il est nécessaire que le système ne détourne pas l'attention du conducteur, et que l'information présentée soit suffisamment simple pour ne pas perturber et interférer avec la tâche de conduite.
- * **la fiabilité** : le système ne doit pas faire des erreurs ou présenter des pannes mettant en danger les conducteurs.
- * **l'adaptation aux comportements** : il est à prendre en compte que l'installation d'aide à la conduite dans la véhicule va modifier les comportements du conducteur et le seuil de risque propre à chacun. En effet chacun accepte un niveau de risque, si on améliore les conditions de sécurité, le seuil du niveau de risque sera augmenté. Il faut prendre en compte aussi, que les usagers les plus vulnérables tels que les piétons et les cyclistes ne posséderont pas ce système.

Nous nous intéressons aux systèmes anticollisions qui sont une aide à certaines tâches de conduite. Il en existe différents types répondant à différents besoins. **Fontaine (1988)** en distingue deux catégories principales :

- * **des dispositifs d'information**, qui améliorent la prise d'information du conducteur :
 - la vision électronique
 - les rétroviseurs actifs
 - la détection coopérative
 - la gestion coopérative de l'intersection
 - la détection d'incidents
 - la détection de situations
 - la détection de pannes
- * **des dispositifs d'assistance**, qui prennent en charge une partie de la tâche de conduite :
 - surveillance de l'état du conducteur
 - le radar anticollision, avec freinage du véhicule
 - l'aide au dépassement
 - les régulateurs de vitesse
 - les régulateurs d'intervalles

- le contrôle de trajectoire
- les aides à la navigation

I.4.2 Codage et mode de présentation de l'information

La conception des systèmes d'aide à la conduite doit prendre en compte l'ergonomie de la présentation de l'information, afin que ces dernières soient lisibles, visibles et facilement compréhensibles. L'objectif est que ces informations viennent aider le conducteur et non le perturber dans sa tâche de conduite. Nous présenterons donc, ci-après diverses expérimentations comparant différentes formes de codage de l'information et différents modes de présentation de l'information. Ces études rapportent l'évaluation subjective de conducteurs automobiles. Nous prendrons en compte ces données dans notre cadre expérimental.

Comparaison de différentes formes de présentation de l'information

En fonction du codage de l'information, les processus cognitifs mis en jeu diffèrent. Selon **Wheeldon et Monsell** (1992, cité par Thon et coll., 1993), le traitement de l'information textuelle passe directement par un codage phonologique, alors que le traitement d'une information symbolique passe préalablement par une analyse sémantique. Ainsi, l'accès au sens d'un symbole est direct et indirect pour un mot.

Le temps de réponse du sujet est plus court pour une information symbolique, du fait que le temps de recherche en mémoire est plus court pour l'information symbolique. Ainsi, **Bencorno et Daniel** (1975, cité par Thon et coll., 1993) ont comparé les deux formes de codage : image et mot. Trente secondes après la première présentation d'un item, on représente au sujet soit le même message au niveau du contenu sémantique soit un différent. Les résultats observés laissent apparaître un temps de réponse plus court (lorsque le contenu sémantique est identique pour les deux items) avec la présentation symbolique (730 ms) contre 889 ms avec la présentation de deux items mots. De plus, les performances de rappel sont meilleures lorsqu'il s'agit d'image plutôt que de mot (**Paivio, Rogers et Smythe**, 1968, cité par Thon et coll., 1993).

De même, **Glaser et Glaser** (1989 cité par Thon et coll., 1993) confirment ceci. Ils ont défini un modèle qui permet de différencier les processus cognitifs intervenant dans le traitement d'une information symbolique ou textuelle. La mémorisation d'une information symbolique fait appel directement à la mémoire sémantique alors qu'une information textuelle (écrite ou orale) passe par un lexique pour se connecter à cette mémoire, ce qui prendrait plus de temps.

En conclusion à l'ensemble de ces modèles théoriques, **Thon, Marquié et Maury** (1993) définissent "l'existence d'un système de représentation en mémoire conservant les attributs perceptifs du matériel imagé, directement utilisable pour la reconnaissance d'une image et demandant beaucoup moins de temps que l'utilisation d'un encodage de type verbal ou plus généralement linguistique". Ces données permettent de poser l'hypothèse qu'un codage symbolique de l'information apparaît plus adapté, du fait que le temps de traitement de l'information est plus court et risque donc moins d'interférer avec la tâche de conduite. On peut donc penser que la charge mentale auto-estimée sera plus faible qu'avec un mode de présentation textuel.

Le dépouillement des questionnaires d'évaluation subjective dans **Hardie I** (Valat, 1993) laisse apparaître une préférence des sujets pour les messages analogiques. Cette expérimentation a permis de comparer différents codages de l'information, pour les aides à la conduite. Les messages testés étaient présentés selon trois formes de codage : analogique (graphe), symbolique (pictogramme) et textuel. Les préférences ont été recueillies à la suite d'un questionnaire de préférences subjectives. Ce résultat est donc en accord avec les données recueillies dans la littérature, selon lesquelles l'information sous forme de présentation imagée est plus rapide. Ceci pourrait expliquer la préférence des sujets, de par la plus grande facilité à mémoriser l'information.

Comparaison de différents modes de présentation de l'information

Les travaux de **Verwey et Janssen** (1988) portent sur la comparaison de deux modes de présentation de l'information pour des systèmes d'aide à la navigation. Les sujets (36) doivent conduire sur trois routes de complexités différentes et à trois moments différents de la journée. Trois catégories de messages sont envoyées : un message auditif simple, un message visuel simple et une carte. La charge mentale estimée par les conducteurs en fonction des différents trajets apparaît plus élevée lorsque le mode de présentation est une carte graphique surtout lorsque les routes sont difficiles et le trafic dense. Il y a peu de différence entre les messages simples que ce soit pour l'auditif ou le visuel. De même, les performances, au niveau du temps de conduite sont plus lentes quand la carte est présentée, pour le trajet le plus complexe et pour les trois périodes de variation de trafic.

Labiale, Mamberti, Baez, Conus et Aupetit (1988), lors d'une expérimentation sur "la compréhension et mémorisation des messages visuels et auditifs d'information routière", ont défini différentes longueurs de messages en fonction du nombre d'unités d'information. Une unité d'information correspondant à un mot ou un mot composé (les articles exclus). Quatre catégories de messages ont été élaborées : 4 unités, 7 à 9, 10 à 12, 14 à 18. Ce sont des messages concernant l'état des routes et la circulation routière. Ils constatent que le nombre d'explorations visuelles augmente avec la longueur et le temps de présentation du message. La durée moyenne d'une exploration est de 0.98 secondes pour un message de 4 unités et de 1.35 secondes pour un message de 14 à 18 unités. La modalité auditive apparaît comme la moins perturbatrice et interférente avec la tâche de conduite. En effet, avec les messages visuels longs, 48.1 % des conducteurs ont l'impression de perdre le contrôle de la trajectoire, contre seulement 5.5 % avec la présentation auditive. De plus, 61.1 % des conducteurs ont été obligés de ralentir lors de la présentation du message contre 31.4 % avec la modalité auditive.

Cette expérimentation a été réalisée en laboratoire par **Sperandio et Dessaigne** (1988), sur soixante dix sujets. On présente aux sujets des messages d'informations routières visuels ou auditifs en fonction de deux longueurs. La longueur des messages est définie en fonction du nombre d'unités d'informations selon la méthode de **Kintsch** (1976, in Sperandio, 1988). Ils définissent ainsi six unités pour les messages courts et douze pour les messages longs. Les messages présentés étaient soit des énoncés standards, soit des messages télégraphiques, soit des messages de style radiophonique. Les temps de lecture des messages télégraphiques sont sensiblement plus courts. Au niveau des résultats sur le pourcentage d'unités d'informations retenues sans répétition, on constate que les messages auditifs sont mieux retenus (messages courts : 70 % contre 59,5 % pour le mode visuel, et pour les messages longs : 60 % d'informations retenues avec le mode auditif contre 47,5 % pour le mode visuel). La modalité auditive obtient de meilleures performances et les messages courts sont mieux rappelés. Il est à prendre en compte que dans le cas présent, il s'agit d'une expérimentation en tâche simple, il serait intéressant de voir les résultats en situation de temps partagé avec la tâche de conduite, par exemple.

I.4.3 Les systèmes anticollisions

Nous nous centrerons uniquement sur l'étude du système anticollision, qui est une aide à la conduite dont les objectifs sont de détecter les obstacles et ralentissements, particulièrement dans les cas de mauvaise visibilité afin d'en avertir le conducteur. Enfin, le système est estimé utile pour le freinage, pour la réduction momentanée de l'inter distance entre véhicules, pour l'accélération lorsque l'on veut dépasser un véhicule.

Malaterre et Saad (1986b) ont expérimenté un système anticollision présentant des informations visuelles sous forme de led (la couleur présentée est fonction de la distance à l'obstacle) et des informations sonores. Les variations sonores (grave/aigu) ont une signification analogue aux couleurs. L'étude porte sur le jugement des utilisateurs, en terme de fonctionnement, de mode de présentation de l'information et d'utilité du système. L'expérimentation est en site réel, sur onze sujets, durant un parcours de 400 kilomètres. Les sujets avaient pour tâche d'approuver ou non le déclenchement de l'alarme et devaient justifier leur choix. Les résultats sur le mode de présentation de l'information rapportent que les signaux sonores ayant juste un octet d'écart, ils ont été jugés difficiles à discriminer l'un de l'autre. Aucune remarque particulière n'a été faite sur l'information visuelle qui était facilement compréhensible et bien visible.

Au niveau de la fiabilité, le système ne détecte pas toujours les piétons et deux roues. En cas de vitesse élevée, le système fournit l'information trop tardivement.

En ce qui concerne la conformité (utilité) de l'alarme, ce système est jugé utile en fonction de la circulation, de la vitesse et de la manoeuvre en cours ou à réaliser. En général, pour des vitesses inférieures à 70 km/h, il est jugé inutile et même agaçant, car il se déclenche trop souvent et inutilement en agglomération. Par contre, le système apparaît nécessaire sur autoroute et route. Le sentiment général qui ressort de cette expérimentation est que le radar doit seulement venir en aide au conducteur lorsqu'il ne peut gérer la situation tout seul. Elle doit aider le conducteur et non se substituer à lui. Cette étude nous met en évidence les évaluations subjectives des conducteurs par rapport au système anticollision.

Une autre étude plus récente a été réalisée chez Renault (**Chalard et coll.**, 1992, 1993), afin d'évaluer différents systèmes de gestion de la circulation routière. Le mode de présentation des informations est par afficheur tête haute. Ces systèmes ont été testés sur dix sujets hétérogènes. Parmi tous les systèmes testés, nous nous intéresserons plus spécialement au système ICC concernant le contrôle des distances. Des ondes à infra rouge permettent de détecter le véhicule en avant, et l'information est présentée sous forme de chevrons, leur nombre étant proportionnel à la distance entre les deux véhicules. Cette expérimentation a été réalisée sur le simulateur de conduite **SCANER** de Renault. Chaque sujet effectue cinq séances de simulation, selon différentes conditions (avec ou sans brouillard, avec ou sans aide). Les critères d'évaluations sont subjectifs (questionnaire) et objectifs (distance de sécurité, sécurité des manœuvres, écarts à la trajectoire, vitesse du véhicule). En conclusion, ce système est utile en tant qu'il permet au conducteur de garder les distances de sécurité, et les sujets en sont dans l'ensemble satisfaits, surtout dans le brouillard. En général, l'apparition de cette aide entraîne des freinages de la part des conducteurs, et non des dépassements.

Ils ont aussi testés un pictogramme de danger qui s'affiche lorsque le système détecte des feux de détresse en avant, ceci induit de fortes décélérations de la part des conducteurs. Ce système est donc positif.

I.4.4 Manœuvres d'urgences et temps de réponse

Les données sur le comportement du conducteur en situation d'urgence ont été étudiées à partir des procès-verbaux d'accidents et testées sur piste ou simulateur. Le problème qui relève de la situation d'urgence est de connaître le temps de réponse imparti au conducteur pour éviter l'obstacle.

A/ Analyses de données d'accidents

Un premier regard portera sur les différentes manœuvres d'urgence possibles. **Fleury et coll.** (1988) ont étudié à partir des données de quarante quatre accidents, les manœuvres qui auraient été théoriquement possibles : les manœuvres réalisables et qui auraient donc permis d'éviter la collision. Ainsi le freinage représente 21 % des manœuvres réalisables et le déport, 55 % des manœuvres réalisables dont 30 % de déport à droite et 25 % de déport à gauche. Maintenant, si l'on regarde les manœuvres réellement tentées (manœuvres réalisées) par les 162 conducteurs impliqués, on constate que 57 % des conducteurs ont tenté une manœuvre d'urgence, dont 22 % de freinage, 25 % de freinage avec déport, 6 % de déport seul, 4 % des manœuvres diverses. Les manœuvres réalisées diffèrent donc des manœuvres réalisables pour éviter la collision. Le déport n'est utilisé que dans 6 % des cas. Par contre le freinage représente la manœuvre majoritairement employée, mais il peut aussi être couplé avec un déport. Il est tout de même à retenir que 43 % des usagers impliqués n'ont tenté aucune manœuvre, mais lorsque l'usager tente une manœuvre, le freinage est employé dans 83 % des cas. Pourtant la manœuvre de déport latéral apparaît comme la plus adaptée, dans les manœuvres réalisables.

Les conclusions de cette enquête sont que 45 % des accidents en intersection pourrait être évités. De plus, le conducteur prioritaire pourrait réaliser une manœuvre d'urgence une fois sur deux lorsque le véhicule survient à droite et une fois sur quatre lorsque le véhicule survient à gauche. Ainsi, c'est le plus souvent le conducteur qui n'est pas en tort qui pourrait réaliser une manœuvre d'urgence.

Il est à constater que dans 71 % des cas, aucune manoeuvre d'urgence n'est réalisable à cause d'un manque de visibilité du conflit, l'obstacle étant perçu trop tardivement, en rapport à l'espace-temps disponible et en fonction de la vitesse des véhicules impliqués. C'est dans ces situations, que l'implantation d'un système anticollision apparaît pertinente et nécessaire, pour prévenir le conducteur suffisamment tôt de l'obstacle.

Hatterick et Bathurst (1976, in Malaterre, 1989) ont étudié 372 dossiers d'accidents et constaté que dans 39 % des cas, une manoeuvre d'urgence correctement réalisée aurait permis d'éviter l'accident.

Malaterre et Peytavin (1987c) analysent quatre-vingt deux cas d'accidents en intersection et constatent que dans 43 % des cas une manoeuvre d'urgence adaptée aurait permis d'éviter l'accident. Le déport latéral aurait été la manoeuvre la plus adaptée dans sept cas sur dix.

Ainsi, les études d'accident montrent l'écart entre les manoeuvres réalisables et les manoeuvres réalisées. Dans beaucoup de cas, l'accident aurait été évitable. Mais le conducteur en situation d'urgence réagit mal, tardivement. Il a tendance majoritairement, en premier lieu, à freiner, ce qui entraîne un blocage des roues. La manoeuvre de déport latéral qui paraît la mieux adaptée n'est pratiquée que très rarement.

Expérimentation de manoeuvres d'urgence

Barret et al (1968, in Malaterre, 1989) ont expérimenté sur simulateur de conduite, la situation où un piéton traverse de droite à gauche. Les résultats sont donnés pour onze sujets : dix sujets freinent et seulement un sujet se déporte à gauche.

Malaterre et coll. (1987b) ont voulu vérifier si les conducteurs connaissent la notion physique du réalisable. Pour ceci ils ont demandé à douze conducteurs expérimentés d'appuyer sur un bouton le moment où ils jugent qu'ils doivent effectuer une manoeuvre d'urgence, soit un déport, soit un freinage. Chaque sujet a réalisé soixante quatre essais selon huit vitesses allant de 40 à 120 km/h et les deux modalités freinage et déport. Ils constatent de grande variation interindividuelle. Les estimations selon les deux modalités freinage et déport sont significativement différentes. La manoeuvre de déport est estimée réalisable beaucoup plus longtemps que le freinage. **La moyenne du temps de freinage est de 2.82 secondes et de 2.38 secondes pour le déport**, cette différence est significative pour dix sujets sur douze.

Malaterre et Peytavin (1987c) ont présenté à vingt quatre sujets, quatre diapositives représentant quatre cas d'évitement en intersection. Trois distances à l'obstacle ont été photographiées dans chaque cas :

- loin pour permettre le freinage,
- médium où l'évitement par déport est réalisable,
- près où le freinage ne peut être réalisé et le déport difficilement réussi.

Les réponses de freinage pur sont dominantes lorsque l'obstacle est loin (42 % des cas et 23 % en médium) et les réponses de déport pur sont majoritaires lorsque l'obstacle est près (42 % des cas contre 4 % quand il est loin).

Dans les manœuvres choisies, le freinage est cité dans 74 % des cas (soixante-onze cas). Il est choisi lorsque la distance apparaît comme suffisante dans quatorze cas ou lorsque aucune autre manoeuvre n'est réalisable (neuf cas). Les justifications des sujets pour le choix de cette manoeuvre ont trait à l'absence de visibilité (quinze fois), au mouvement de l'obstacle (deux fois) et lorsque l'accotement est peu accueillant (neuf fois).

Le déport latéral est choisi dans 64 % (soixante et un cas dont dix-huit purs). Il est choisi lorsqu'il est estimé réalisable (neuf fois) ou lorsqu'il est la seule solution possible (huit fois). Le déport par l'arrière n'est tenté que dans un cas.

Les manœuvres combinées sont choisies dans 8 % des cas (huit cas). Cette manoeuvre consiste en un freinage plus déport.

A partir des résultats de cette étude, **Malaterre et Peytavin** (1987c) tentent une modélisation du choix des manœuvres et des justifications :

- la distance est suffisante : Frein 15 %
- il y a incertitude sur le mouvement de l'obstacle : Frein 13 %
- la visibilité est insuffisante : Frein 29 %
Autres 5 %
- la visibilité est suffisante : Frein 17 %
Autres 21 %

Ainsi, dans 74 % des cas, la manoeuvre initiale est le freinage.

Malaterre et Lechner (1989) ont mis en place une expérimentation sur simulateur de conduite, afin d'observer les manœuvres d'urgence réalisées, en fonction de la distance à l'obstacle. Un parcours en campagne d'une longueur de 10 km a été simulé. Il y a deux situations tests, la première fois le conducteur n'est pas averti qu'un obstacle va survenir sur sa droite en situation d'intersection, la deuxième fois il est averti (cette situation est répétée deux fois). Il s'agit de comparer les manœuvres d'urgence choisies en fonction du fait que le conducteur est prévenu ou non. Trois distances à l'obstacle sont testés : 2, 2.4 et 2.8 secondes. Cette expérimentation a été réalisée sur quarante neuf sujets. Les résultats recueillis montrent que le déport à droite n'est jamais choisi comme première manoeuvre. La première action identifiable est le lâcher d'accélérateur dans la plupart des cas. Les temps moyens de lâcher sont de 0.80 secondes et de 0.82 secondes pour le déport, le temps de freinage (lâcher d'accélérateur + appui pédale de frein) est d'une seconde. Le déport à gauche est réalisé lorsque la distance à l'obstacle est très courte (2 secondes). Sur 49 sujets, 32 ont réalisé un freinage et 17 un déport. La différence est significative entre les trois essais. Les temps de réponse sont plus courts pour les cas où le conducteur est averti :

	Première action	Première commande active
Essai 1	0.81 sec	0.94 sec
Essai 2	0.56 sec	0.67 sec
Essai 3	0.62 sec	0.74 sec

Tableau n° II
Temps de réponse en situation d'urgence (Malaterre et Lechner, 1989)

Si l'on constate une différence dans les temps de réponse sur les trois essais, on ne remarque par contre, pas de différence dans les manœuvres choisies, le conducteur ne change pas de stratégie.

Le freinage est tenté dans 35 % des cas, et le freinage plus déport est tenté dans 51 % des cas. Le freinage est donc réalisé majoritairement (86 % des cas). Plus la distance à l'obstacle est longue, plus le freinage est préféré. L'association freinage et déport arrière apparaît comme la manoeuvre la plus sûre lorsque la distance à l'obstacle est assez longue.

Olson et Sivak (1986) ont tenté de mesurer le **temps PR (perception-réponse)** sur quarante sujets jeunes (18-40 ans) et quinze sujets âgés (50-84 ans) non alertés qu'un obstacle en mousse allait être jeté sur leur trajectoire pendant l'ascension d'une colline. Le temps PR "commence quand le premier obstacle devient visible pour le conducteur et finit quand il appuie sur le frein". En général, lorsque l'objet devenait visible, les sujets étaient à trois ou quatre secondes de lui. Les sujets passent une fois la situation en "non alerté" et cinq fois en "alerté". Chez les sujets jeunes, on ne constate pas de grande différence (0.2 secondes) entre les conditions "alerté" et "pas alerté". Les conducteurs jeunes, au 95^e percentile ont un temps PR de 1.6 secondes. Les temps de réponses des conducteurs âgés sont similaires.

Toutes ces expérimentations nous montrent que la manoeuvre la plus souvent réalisée est le freinage. Les résultats des expérimentations sont en accord avec les données de dépouillement d'accidents. Les temps de réponse mesurés doivent prendre en compte un temps de détection de l'obstacle (activité perceptive), un temps de reconnaissance ou d'identification de l'obstacle (traitement de l'information), un temps de décision de la réponse choisie et un temps d'action (**Malaterre**, 1987c, 1986a). Ces différentes étapes ne sont pas sans faire référence aux trois niveaux définis dans le modèle de Gagne dans la prise d'information.

Les quelques données présentées ci-dessous, nous permettent de cerner les temps moyens nécessaires à l'appui pédale, en situation de conduite :

Laurell et Lisper (1978, in Malaterre, 1986a), trouvent des temps de réponse à un signal auditif, lors d'une tâche de conduite sur piste, de 0.45 à 0.5 secondes. Le conducteur a son pied en permanence sur la pédale, et n'a qu'à enfoncer le pied.

Lister (1950, in Malaterre, 1986a) mesure le temps de déplacement du pied de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein : ce temps serait de 0.45 secondes. Il mesure, de même, le temps de freinage en situation réelle de conduite, qui serait compris entre 0.6 et 0.8 secondes. Les temps enregistrés dans le cas présent, sont en situation simple de conduite, ce sont juste des appuis pédale, non réalisés en situation d'urgence.

Lings (1991) a réalisé une expérimentation sur maquette, le sujet étant placé dans un habitacle de voiture : le siège peut être réglé d'avant en arrière, le volant fonctionne et la voiture comporte les trois pédales (frein, accélérateur et embrayage). Les résultats enregistrés sont entre autre, des temps de réponse simple sur les pédales à des stimuli visuels et auditifs. Les stimuli visuels sont envoyés sur un écran placé face au conducteur, ce sont soit des flèches rouges ou vertes. Les stimuli auditifs sont transmis au moyen d'un buzzer. Il définit un "premier temps de réaction" qui correspond à l'intervalle entre le déclenchement du signal et le lever du pied de l'accélérateur et un "second temps de réaction " qui correspond au mouvement du pied de l'accélérateur vers la pédale de frein. Les 109 sujets testés ont entre 17 et 85 ans, avec une moyenne de 49 ans. Nous regarderons les résultats obtenus avec le pied droit, étant donné que c'est le pied habituellement utilisé pour accélérer et freiner, au signal visuel rouge (correspondant à freiner) et au signal sonore :

	Visuel	Sonore
1° TR, 3° essai	276 ms	270 ms
2° TR, 3° essai	225 ms	218 ms
Temps total	501 ms	488 ms

Tableau n° III
Temps de réponse simple au freinage (Lings, 1991)

Nous avons effectué la somme des deux temps de réponse, ce qui nous donne un temps moyen de freinage à des stimuli auditif et visuel, au troisième essai, donc après apprentissage. Les résultats obtenus montrent un temps total de freinage plus long au signal visuel qu'au signal auditif.

Le rapport final de **STAMMI** (1992) fait état des capacités des conducteurs français. Cette enquête a été réalisée sur 764 conducteurs. Le temps de réaction à des signaux externes, c'est-à-dire le temps nécessaire au traitement de l'information (perception, prise de décision, action motrice) est compris entre 0.15 et 0.8 secondes pour un signal visuel (lumière) et entre 0.36 et 0.9 secondes pour un signal auditif. L'amplitude des temps de réponse est fonction de la présentation du signal (forme, longueur, taille), de son emplacement et de la situation de conduite (situation d'urgence, d'aide directionnelle, etc.).

I.5 Choix méthodologique

I.5.1 La méthode de double tâche

Notre expérimentation fait référence à la méthodologie de double tâche, nous la définissons ci-dessous :

Cette méthode s'inspire de la théorie du canal à capacité limitée définie par **Broadbent**. Le postulat en est que l'individu possède une capacité limitée de ressources. Ainsi, si deux tâches n'excèdent pas la capacité totale de ressources, elles pourront être exécutées simultanément. Dans le cas contraire, il y a saturation du canal et dégradation d'une des deux tâches.

La méthodologie de double tâche consiste à définir une tâche principale et une tâche secondaire, et à les mettre en compétition, afin de voir à partir de quand la tâche secondaire sera dégradée. Pour ceci, on augmente progressivement, la complexité de la tâche secondaire, jusqu'à ce qu'elle se dégrade. La dégradation de la tâche secondaire indique que le canal est saturé (il n'y a plus assez de capacité disponible) et que le sujet ne peut plus effectuer simultanément les deux tâches.

A ce niveau là se pose tout le problème de l'automatisation des tâches. En effet, une tâche automatique ne consomme pas de ressources attentionnelles, au contraire d'une tâche contrôlée. Ainsi, une tâche automatique peut toujours être exécutée en simultané avec d'autres tâches, puisqu'il n'y a pas interférence.

De plus, il faut être vigilant, à ce que les deux tâches définies ne présentent pas d'interférence, au niveau des canaux utilisés. Ainsi, deux tâches d'ordre visuelles, utilisant donc le même canal, seront exécutées successivement au contraire de deux tâches utilisant des canaux différents qui pourront être exécutées simultanément, à condition de ne pas dépasser la somme totale de ressources disponibles.

I.5.2 Quel environnement ?

Dans le cadre de notre expérimentation : enregistrement des temps de réponse au freinage, en situation d'urgence, différents environnements expérimentaux étaient possibles. Nous allons détailler les avantages et inconvénients de chacun.

* Site réel

L'expérimentation sur site réel se trouve être impossible, pour des raisons de sécurité.

* Expérimentation sur piste

L'expérimentation sur piste (site protégé) présente l'avantage de pouvoir simuler la situation d'urgence, en projetant un obstacle en mousse, et de faire varier les situations de conduite (**Olson et Sivak**, 1986). L'intérêt d'intégrer un niveau de risque, permet de placer le conducteur dans une situation émotionnelle, relativement proche d'une situation réelle. Bien qu'il n'y ait pas de trafic et qu'il sait qu'il est en condition expérimentale. L'inconvénient majeur est que l'effet de surprise ne peut avoir lieu qu'une fois, on ne peut donc enregistrer beaucoup de temps de réponse par sujets. Par contre, on peut comparer les temps de réponse des conducteurs en situation prévenu de l'obstacle et en situation non prévenu.

De plus, le conducteur se trouve en situation réelle de conduite, les automatismes et comportements du conducteur sont donc plus proches de la situation réelle qu'avec tout autre outil de laboratoire.

D'autres contraintes plus pratiques sont à prendre en compte, tout d'abord l'aspect météorologique. L'expérimentation ne peut se faire en cas de pluie, étant donné cet aspect, nous n'avons pu nous permettre de retenir cette solution, vu les aléas du temps. De plus, la piste est située à proximité de l'aéroport de Satolas. Il est donc à prendre en compte les horaires des vols afin de ne pas être dérangé par le bruit des atterrissages et décollages. Ce qui peut apparaître comme fortement contraignant. Mais, il est évident que ces inconvénients sont extérieures à des problèmes d'ordre plus théoriques.

* Expérimentation sur maquette

Nous appelons maquette, un habitacle de voiture placé dans une pièce, face à un écran de télévision diffusant des images de scènes routières. Cet habitacle est muni de la pédale de frein et d'accélérateur, possédant des capteurs (cf. **Valat**, 1992).

L'expérimentation sur maquette permet l'enregistrement des temps de réponse et d'ajouter une seconde tâche. Ceci permet de mesurer des temps de réponse en simple et double tâche, sur les pédales de frein et d'accélérateur, et ainsi d'évaluer la dégradation d'une tâche par rapport à l'autre.

Mais les inconvénients sont relativement nombreux. Tout d'abord il est totalement impossible de simuler une situation d'urgence sur maquette, le niveau de risque et de stress étant totalement nul. Cet inconvénient apparaît comme suffisamment conséquent, dans notre cadre expérimentale, pour rejeter la solution de l'expérimentation sur maquette. De plus, on peut mettre en avant l'aspect statique et ludique de ce matériel expérimental.

* Expérimentation sur le simulateur de conduite de l'INRETS-LESCO

Il permet de simuler la situation d'urgence et la tâche de conduite, sans présenter aucun risque pour le conducteur. Compte tenu de sa conception (**Durand et coll.**, 1994), il présente certaines limites : la scène routière est essentiellement frontale, avec absence d'informations sur les côtés et l'arrière. L'intérêt principal du simulateur de conduite est de permettre de visualiser en temps réel des images de synthèse représentant des scènes routières, en fonction de la vitesse et de la trajectoire choisie par le conducteur et transmise par les commandes (volant, frein, accélérateur)

Les inconvénients principaux sont dus au caractère statique qui empêche toute sensation corporelle en fonction des variations du circuit. Un autre inconvénient provient de l'absence de netteté des lignes et contours.

Le caractère statique du simulateur de conduite représente une sérieuse contrainte, puisque le conducteur ne reçoit aucune information proprioceptive de l'environnement routier. En effet, le véhicule expérimental est complètement statique, alors que l'image (la scène routière) bouge. Le conducteur ne perçoit pas les sensations dues au défilement routier, ce qui provoque dans certains cas des petits malaises, appelés maladie de la simulation.

Ainsi, par exemple, si le conducteur freine, il ne sent pas le véhicule freiner, c'est la même chose s'il accélère et pour toutes les commandes du véhicule. De plus, le niveau émotionnel et de stress n'est pas retranscrit puisque le niveau de risque (accident probable) est nul.

Il est à prendre en compte l'aspect ludique du simulateur de conduite, le comportement du conducteur est donc différent dans ce cas là, puisqu'il prendra des risques qu'il n'aurait jamais pris en situation réelle. L'importance de cet aspect est très difficile à évaluer, il dépend de chaque sujet.

Les limites relevées par les ingénieurs de l'INRETS sont :

- la limitation horizontale du champ de vision à 40° ou 50° alors qu'un champ sur 120° permettrait au conducteur de mieux apprécier sa vitesse et d'anticiper sa trajectoire en virage.
- l'absence de restitutions de vibrations et de mouvements permettant au sujet de ressentir les différents accélérations subies dans un véhicule réel : force centrifuge en virage, décélération due au freinage, etc.

- la difficulté de maîtriser de façon fine le "temps de réponse" du système, ce qui représente un élément essentiel pour que le conducteur reconnaisse une vivacité de réaction proche de celle d'un véhicule réel.

En conclusion aux avantages et inconvénients de l'outil, simulateur de conduite, nous rapporterons cette remarque de l'équipe simulateur de l'INRETS

"Ce type d'outil réalise avant tout une présentation visuelle interactive et ne comporte pas tous les éléments qui seraient nécessaires à un simulateur de conduite". (**Durand et coll.**, 1994).

II. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

Pour évaluer le temps de réponse des conducteurs en situation d'urgence (sachant que le conducteur est averti par un système anticollision de l'arrivée d'un obstacle), il est nécessaire d'évaluer le temps disponible au conducteur, suivant la distance à l'obstacle et la vitesse des deux véhicules. Il se pose la question de comment estimer ce temps de réponse, en fonction des capacités cognitives et motrices des conducteurs. Ceci permettrait de connaître la courbe enveloppe des temps de réponse en-dessous de laquelle il est nécessaire d'implanter un système automatique. Le problème est donc :

En situation de conduite, en temps partagé, en intégrant une forte contrainte temporelle, quelles sont les conséquences sur le traitement de l'information et sur les temps de réponse des conducteurs ?

Les données théoriques rapportées précédemment, nous permettent de connaître les temps de réponse des conducteurs nécessaires pour une manoeuvre d'urgence. L'insertion d'un système anticollision dans un véhicule, doit venir aider le conducteur en le prévenant suffisamment tôt pour qu'il puisse effectuer correctement la manoeuvre adéquate et ainsi éviter la collision. De plus, de par le rapport **STAMMI** (1992), nous connaissons les temps de réponse des conducteurs à un signal, en simple tâche. Le problème est donc d'évaluer ces temps de réponse à un signal en situation d'urgence, en attention partagée : le conducteur doit effectuer le tâche de conduite et la tâche de réponse au signal. Nous nous intéresserons principalement, pour l'instant, au temps de réponse pur et non à la manoeuvre tentée par le conducteur. Définir ce temps de réponse du conducteur implique de prendre en considération la perception du signal, son identification, son interprétation et l'action pédale.

HYPOTHESES

Nous savons que le système de traitement de l'information humain est limité dans sa capacité. D'un autre côté, le conducteur se trouve en situation de double tâche, il ne faut donc pas que la deuxième tâche vienne interférer avec la tâche de conduite et particulièrement en situation d'urgence.

L'implantation de ce système doit donc aider le conducteur, son rôle ne doit pas être distracteur, d'où l'importance du mode et de la forme de codage de l'information présentée. Sous quels aspects l'information doit-elle être présentée pour être comprise clairement et facilement par le conducteur. Ces problèmes sont à prendre en compte et nous permettent de poser l'hypothèse qu'un signal utilisant un canal sensoriel non utilisé par la tâche de conduite serait préférable. En nous référant à la théorie de **Wickens** (1984, in Eyrolle et Pacquiot, 1989) sur la politique d'allocation de ressources, une information auditive apparaîtrait plus convenable puisqu'elle n'interfererait pas avec la tâche de conduite qui est une tâche à forte dominante visuelle. En effet, nous savons que lorsque deux tâches utilisent le même canal sensoriel, elles sont exécutées successivement. Par contre, si ces deux tâches utilisent des canaux différents (par exemple le canal visuel et le canal auditif), elles peuvent être exécutées simultanément, à condition que la somme des deux ne dépassent la quantité totale de ressources générales.

A un autre niveau de raisonnement, en nous référant à l'article de **Matthews et Sparkes** (1993) sur la notion d'habileté, on peut penser que du fait que le canal auditif est moins sollicité lors de la tâche de conduite, le conducteur peut être surpris par un message auditif. En effet, il est moins habitué à traiter ce mode de signal. L'effet de surprise peut être perturbateur. Au contraire, un message visuel fait partie intégrante de l'environnement habituel ou coutumier de la tâche de conduite et des informations traitées (piétons, panneaux routiers, etc.).

De plus, en situation d'urgence, sous forte contrainte temporelle, le conducteur fera en premier lieu appel aux schémas acquis les plus usuels. Une information visuelle serait donc plus adaptée qu'une information auditive. Cette dernière présenterait un caractère trop distrayant et donc perturbateur, risquant d'interférer à un plus haut degré avec la tâche de conduite.

Il est à préciser que nous travaillons sur des temps de réponse, d'où l'obligation d'une mesure précise, nous permettant de traiter ultérieurement des données exactes. Ainsi, avant de vérifier nos hypothèses de travail, il apparaît nécessaire de vérifier la validité de notre méthode d'enregistrement des temps de réponse, décrite dans la partie suivante. Nous pouvons considérer ceci comme une hypothèse préparatoire à la vérification des hypothèses de travail énoncées ci-dessus.

Notre objectif premier était d'effectuer une étude comparative sur une population de conducteurs expérimentés jeunes et âgés. Mais étant donné les contraintes méthodologiques auxquelles nous avons dû faire face, cette partie du travail sera traitée ultérieurement. Nous la mentionnons tout de même, compte tenu de son importance pour l'adaptabilité des systèmes à l'ensemble de la population des conducteurs. Nous avons vu précédemment les caractéristiques de cette population tant au niveau physiologique, sensoriel que cognitif particulièrement en ce qui concerne le traitement de l'information.

Concernant les deux types de populations choisies et en référence aux travaux de Claude **Marin-Lamellet** (1993), nous pouvons penser qu'en situation d'urgence, il y aura dégradation d'une des deux tâches, de la part de la population âgée. En effet, d'après les données obtenues au cours de son travail, il conclut qu'une tâche simple associée à la tâche de conduite, dans une situation peu exigeante, n'a pas d'effet perturbateur sur la tâche de conduite. Cependant les personnes âgées traitent les informations différemment puisqu'ils effectuent un traitement sériel. On peut poser l'hypothèse, qu'en situation d'urgence, ils n'auront pas le temps suffisant pour effectuer ce traitement sériel. La courbe enveloppe des temps de réponse des personnes âgées devrait avoir une moyenne plus élevée à comparer d'une population jeune.

III. METHODOLOGIE

Suite à notre discussion dans la partie "choix méthodologique" sur les avantages et inconvénients des différents environnements expérimentaux, l'expérimentation se déroulera sur le simulateur de conduite de l'INRETS-LESCO.

Notre objectif est de définir la courbe enveloppe des temps de réponse au freinage des conducteurs, à des signaux d'alerte, en temps partagé, afin de connaître d'une part le temps moyen, d'autre part la limite à partir de laquelle il n'est plus possible à l'opérateur humain de répondre.

Nous voulons connaître le temps imparti au traitement de l'information en attention partagée. Ainsi, dans un premier temps, le sujet effectuera une tâche de réponse au message d'alerte, en attention non partagée (tâche simple). Nous enregistrerons ainsi les temps de réponse des sujets aux différents signaux (temps de réponse simple).

Puis, dans un second temps, nous enregistrerons les temps de réponse des sujets en attention partagée sur deux tâches : le sujet effectuera une tâche de maintien de trajectoire (suivi du circuit) et simultanément la tâche de réponse au message d'alerte : il devra répondre aux mêmes signaux présentés que dans la tâche simple.

Afin de varier le complexité de la situation d'attention partagée, une tâche cognitive sera ajoutée, un certain nombre de fois. Nous enregistrerons ainsi les temps de réponse en situation d'attention partagée entre trois tâches distinctes au niveau des stimuli, des traitements et des réponses.

Les résultats enregistrés nous permettront de connaître dans un premier temps : le temps physiologique nécessaire à l'appui pédale. Puis dans un second temps, nous pourrions évaluer l'augmentation du temps de réponse du sujet en situation de double et triple tâche par rapport aux résultats obtenus en simple tâche. Plus précisément, nous étudierons les variations des temps de réponse au freinage, en fonction de la complexité de la ou des tâches imposées.

La méthode employée consiste donc à mettre le sujet en situation de simple, double et triple tâche :

- * la tâche principale sera la tâche de maintien de trajectoire (suivre le circuit).
- * la tâche secondaire correspondra à la tâche de traitement des signaux par appui sur la pédale de frein : tâche de réponse au message d'alerte.
- * la troisième tâche ajoutée sera une tâche cognitive de conversation orale, afin de placer le sujet en situation d'attention partagée.

En situation d'attention partagée, dans l'objectif de notre travail, nous simulerons une situation d'urgence, sur simulateur de conduite. Un obstacle sera placé sur le circuit, obligeant le conducteur à freiner le plus vite possible dès apparition du message, s'il veut éviter de rentrer en collision avec celui-ci. Cet obstacle sera non visible du conducteur, avant l'apparition du message. Le temps de réponse enregistré correspondra ainsi au traitement du message et non à un comportement anticipatoire à la vue de l'obstacle.

III.1 Description des tâches

III.1.1 Tâche de réponse au message d'alerte

Le sujet sera placé dans un simulateur de conduite avec une pédale de frein reliée à un capteur permettant d'enregistrer les temps de réponse moteur au pied. Un micro-ordinateur émettra deux types de signaux de codage symbolique présentés auditivement ou visuellement (led rouge ou son simple). La consigne est de répondre le plus rapidement possible dès l'apparition du message par un appui sur la pédale de frein :

"Vous êtes assis dans le véhicule, votre pied droit posé sur la pédale d'accélérateur. Des messages visuels ou auditifs vont vous être présentés. A leur apparition, vous appuyez, à fond et le plus rapidement possible, sur la pédale de frein. "

Nous enregistrerons ainsi les différents temps de réponse des sujets en fonction du mode de présentation de l'information.

III.1.2 Tâche de maintien de trajectoire

Le sujet sera placé dans un simulateur de voiture statique (habitacle de Renault 21), où il devra effectuer une tâche de conduite simple appelée tâche de maintien de trajectoire (suivre la trajectoire).

III.1.3 Tâche cognitive

Nous avons défini une tâche cognitive, se rapportant au questionnaire d'identification du sujet. Dans ce questionnaire, nous lui poserons une question sur ses loisirs. Ceci nous servira de base de référence pour poser des questions au sujet sur son vécu personnel et entretenir une conversation. Le sujet ne sera pas averti de l'existence de cette tâche, l'expérimentateur posera les questions durant la tâche de maintien de trajectoire. Lors du parcours, la tâche cognitive sera présentée un total de quatre fois : Deux fois avec les tâches de maintien de trajectoire et deux fois avec la tâche de maintien de trajectoire et la tâche de réponse au message d'alerte. Ceci afin, que chaque fois qu'il y ait tâche cognitive, il n'y ait pas obligatoirement un message qui apparaisse.

Nous avons choisi une tâche de conversation, afin que la troisième tâche ajoutée occupe un canal libre, les canaux visuel et auditif étant déjà occupés par les deux autres tâches. Il n'y a pas d'interférence, pour l'exécution des tâches.

Pour ceci, nous aurions pu reprendre le matériel expérimental d'une expérience ayant eu lieu dernièrement au LESCO (**PACHIAUDI**, à paraître) sur le téléphone main libre. Mais nous préférons que ce soit directement l'expérimentateur qui fasse la conversation dans le véhicule, et non par l'intermédiaire d'un téléphone, pour des raisons d'ordre plus relationnelle que scientifique.

III.1.4 Interaction des tâches

Les trois tâches définies ci-dessus seront présentées simultanément au sujet. Ainsi, en même temps que la tâche de maintien de trajectoire, quatre signaux soit visuels soit auditifs seront envoyés au sujet. Ces messages précéderont toujours un obstacle sur la route. Pour chaque mode de présentation de l'information, deux des messages seront présentés en même temps que la tâche de maintien de trajectoire et les deux autres en même temps que la tâche précédente avec la tâche cognitive ajoutée.

La consigne est de freiner, à fond, le plus rapidement possible, dès l'apparition de ce message :

"En même temps que vous conduisez, des messages vont vous être présentés. Ces messages sont des signaux d'alerte qui vous préviennent de l'arrivée imminente d'un obstacle sur votre trajectoire. A leur apparition vous freiner, à fond, le plus rapidement possible, en essayant de garder le contrôle de votre véhicule".

A la suite de chaque passation avec un mode de présentation du message (visuel ou auditif), un questionnaire d'évaluation subjective (cf. Annexe 1), se rapportant à l'interférence de l'apparition du message avec la tâche de conduite, sera présenté. Les résultats de ce questionnaire, nous permettront de comparer d'éventuels discordes ou accords entre les temps de réponse des conducteurs et leurs préférences subjectives.

Ce questionnaire élaboré par Pachtiaudi et Pauzié (1994) est inspiré du TLX, qui est un questionnaire d'évaluation de la charge mentale.

III.2 Description de l'échantillon

L'échantillon de pré-expérimentation se compose de 22 sujets jeunes (entre 25 et 35 ans). Le nombre important de sujets pour les pré-expérimentations s'explique par le fait que nous avons dans un premier temps testé un échantillonnage d'enregistrement des données. Puis, à la vue des résultats, ce choix s'est avéré assez imprécis, et nous l'avons modifié.

Pour l'expérimentation, un petit échantillon de huit sujets a été constitué, suite à des modifications technologiques évoquées ci-dessus.

Les sujets sont choisis en fonction des critères suivants :

* L'expérience de conduite :

Tous les sujets sont des conducteurs expérimentés, ayant le permis de conduire depuis au moins cinq ans et/ou effectuant plus de 10 000 kilomètres par an. Ceci, nous permet de contrôler tous les effets dus aux conducteurs novices, l'acquisition des automatismes et réflexes étant différente entre experts et novices.

* Le sexe :

La population féminine et masculine sera répartie équitablement dans les deux sous-groupe : huit hommes et huit femmes dans chaque sous-groupe.

* L'âge :

Le groupe choisi est limité à 35 ans afin de pouvoir contrôler les effets du vieillissement.

III.3 Description du matériel utilisé

III.3.1 Le simulateur de conduite

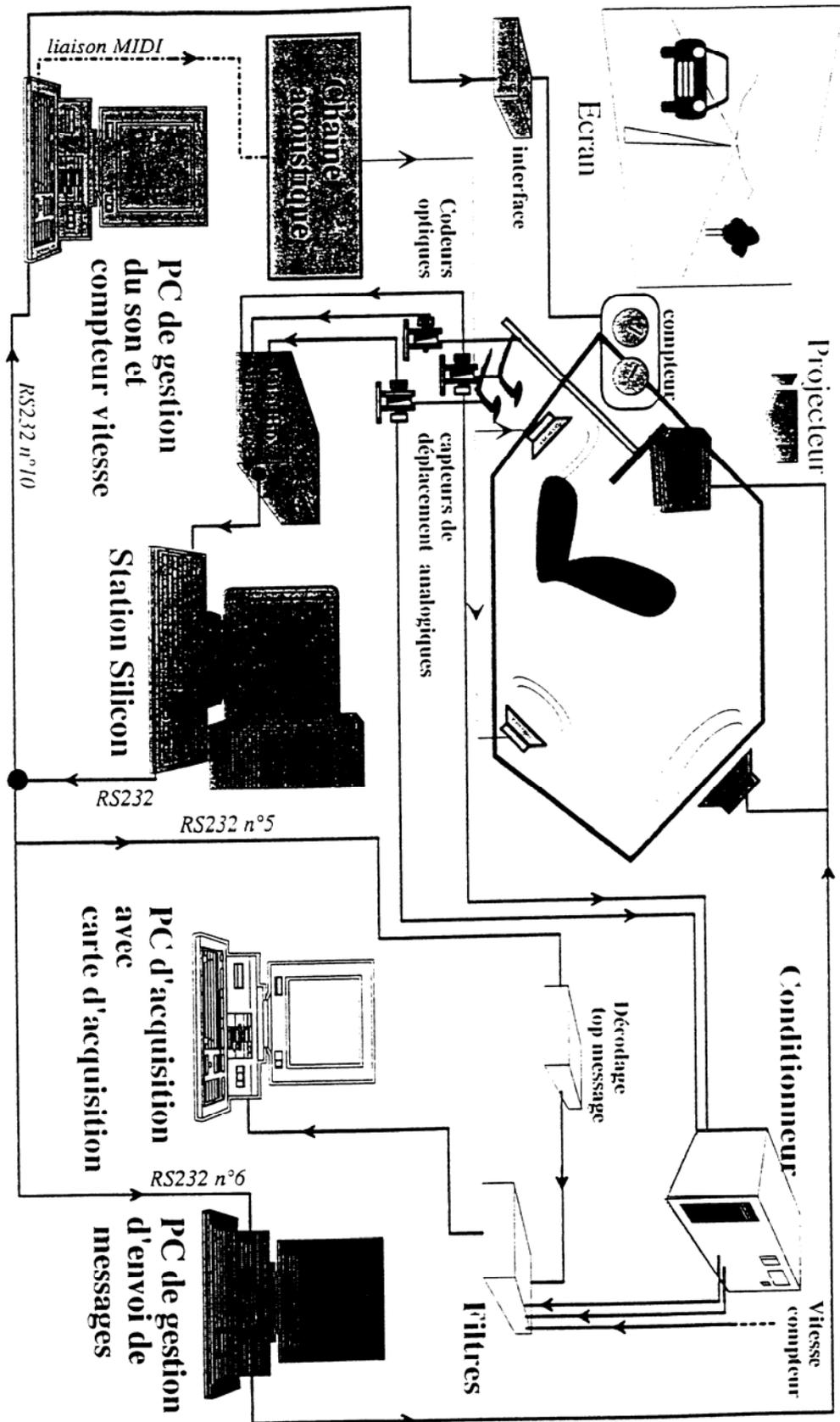
L'expérimentation sera réalisée sur le simulateur de conduite de l'INRETS-LESCO. Les avantages et inconvénients de cet outil de laboratoire ont été listés précédemment (cf. choix méthodologique).

Le simulateur de conduite est composé :

- * d'une station informatique de travail SILICON GRAPHICS IRIS 4D320/Reality Engine, qui permet d'effectuer la synthèse d'image. Cette station joue le rôle de nœud central. Elle calcule en temps réel les images routières et gère la dynamique du véhicule.
- * d'une Renault 21, les interfaces sont le volant, les pédales de frein et d'accélérateur et le tableau de bord (compteur de vitesse). La boîte à vitesse est automatique. Les pédales sont munies de capteurs permettant d'enregistrer les appuis pédales.
- * d'un projecteur vidéo BARCO qui permet la projection des scènes routières sur un écran géant placé face au véhicule. La scène routière est décrite dans un espace à trois dimensions.

Le logiciel actuel de simulation DRIVE permet principalement :

- * de créer une scène routière (route, accotements, terrains avoisinants, objets décoratifs : arbres, usines, maisons, etc.).
- * de créer des ambiances : le jour, la nuit, le brouillard.
- * d'enregistrer et de rejouer un parcours.
- * d'enregistrer des variables comme la vitesse, l'état des commandes, etc.
- * de boucler un parcours routier.
- * de se déplacer à l'intérieur de la scène routière.



Graphique n° 7

Descriptif du dispositif expérimental sur le simulateur de conduite SECRET

III.3.2 Elaboration des messages d'aide à la conduite

Cette expérimentation ne cherche pas à évaluer les temps de réponse des conducteurs en fonction du codage de l'information pour chaque mode, c'est-à-dire codage visuel, analogique et textuel, défini selon une longueur (en termes d'unités d'informations).

Lors d'une expérimentation précédente (**Valat**, 1993), sur l'évaluation subjective de messages d'aide à la conduite, par des conducteurs, en fonction du mode de présentation et du codage de l'information, il est apparu que les conducteurs jugent une information courte symbolique comme la plus facilement compréhensible.

Nous avons donc choisi le codage symbolique pour la conception de nos messages :

- * Le signal visuel : l'information sera présentée sous forme d'un gros led rouge et rond. Le sens symbolique de ce signal est tout simplement: "danger, freiner".
- * Le signal auditif : l'information sera codée sous la forme d'un son simple continu, aigu et fort ayant le même sens que le led rouge.

La gestion de l'envoi des messages se fera par l'intermédiaire du logiciel "Display Demonstrator" (DD), élaboré par l'école polytechnique de Madrid. Le micro-ordinateur permet de stocker les messages sonores et visuels, et d'enregistrer les différentes réactions du conducteur : action sur les pédales de frein et d'accélérateur, la vitesse du véhicule. Les données seront directement enregistrées dessus, avec un échantillonnage à 10 Hertz.

Ce logiciel est interfacé avec le simulateur de conduite, ce dernier constitue l'élément central et joue le rôle de "chef d'orchestre".

Messages visuels :

Sur le tableau de bord sera placé un écran de télévision couleur à cristaux liquides SHARP 6m-10s permettant la diffusion des messages visuels. La taille de l'écran est de 8,5 cm par 11,4 cm avec une diagonale de 14,2 cm. Cet écran est placé en vision centrale, à droite du compteur de vitesse, afin d'éviter les détournements de regard.

Messages sonores :

Un haut parleur sera intégré dans l'habitacle permettant l'émission des messages auditifs. Cet élément ne fait pas partie du simulateur mais est interféré et commandé par le simulateur de conduite.

III.3.3 Description du scénario

B/ Elaboration du circuit

Le circuit est d'une longueur de huit kilomètres. Il est composé de deux lignes droites de trois kilomètres et de courbes faciles à négocier. Le sujet effectuera deux fois ce circuit :

Une fois où seront présentés quatre messages visuels (**Série 1**) et une fois où seront présentés quatre messages auditifs (**Série 2**). La moitié des sujets commencera le premier circuit avec un mode et inversement pour la seconde moitié de la population.

Un obstacle ou incident sera placé sur le circuit : l'incident défini est une voiture qui traverse soudainement la chaussée. Le message apparaîtra, à chaque fois, avant que l'obstacle soit visible, afin que le temps de réponse au freinage enregistré soit bien un temps de réponse au message et non à l'obstacle. L'envoi de messages se fera toujours en ligne droite, ainsi que les tâches de conversation.

L'emplacement des messages sur le parcours sera aléatoire, afin que les messages ne soient pas positionnés à intervalle régulier. Deux messages sont positionnés sur chaque ligne droite, à intervalles non réguliers : à 875 mètres et 2 075 mètres dans la première ligne droite et à 5 500 mètres et 6 425 mètres dans la deuxième ligne droite.

Deux leurres (voiture arrêtée sur la droite de la chaussée) ont été placés sur le parcours afin que le sujet n'assimile pas la vision d'un véhicule arrêté sur le bas côté à l'apparition prochaine d'un message. Ces leurres sont entre le premier et deuxième incident, à 1 650 mètres, et entre le deuxième et troisième incident à 4 325 mètres.

C/ Gestion des effets d'ordre

Notre expérimentation se découpe en deux parties : premièrement enregistrement des temps de réponse en tâche simple et deuxièmement en attention partagée. Ceci, afin de contrôler tout effet d'ordre dans la passation des tâches, la réalisation de la tâche simple en premier pourrait avoir un effet d'apprentissage sur l'exécution des tâches en attention partagée. Nous avons défini deux ordres opposés de passage des tâches :

Passage 1, les sujets 1 à 4 commenceront l'expérimentation, par la tâche simple (**TS**), puis effectueront les double et triple tâches (**TD/TT**) ensuite.

Passage 2, les sujets 5 à 8 commenceront par les double et triple tâches (**TD/TT**), puis dans un second temps, ils passeront la tâche simple (**TS**).

Pour chaque tâche, deux ordres d'apparition des messages ont été définis :

Ordre 1 : Série 1 (4 Messages visuels) + **Série 2** (4 Messages auditifs)

Ordre 2 : Série 2 (4 Messages auditifs) + **Série 1** (4 Messages visuels)

En double tâche, deux des messages de chaque série, seront associés à la tâche cognitive. L'ordre de ces quatre messages a été tiré au hasard (voir ci-après).

Nous obtenons ainsi, huit temps de réponse par sujet (quatre à un stimulus visuel et quatre à un stimulus auditif).

D/ Balancement des modes de présentation

Si nous voulons contrôler les effets d'ordre, nous obtenons un total de 4 possibilités par passage :

- **Passage 1**

- 1) TS, Ordre 1 + TD/TT, Ordre 1
- 2) TS, Ordre 1 + TD/TT, Ordre 2
- 3) TS, Ordre 2 + TD/TT, Ordre 1
- 4) TS, Ordre 2 + TD/TT, Ordre 2

- **Passage 2**

- 1) TD/TT, Ordre 1 + TS, Ordre 1

- 2) TD/TT, Ordre 1 + TS, Ordre 2
- 3) TD/TT, Ordre 2 + TS, Ordre 1
- 4) TD/TT, Ordre 2 + TS, Ordre 2

Nous avons quatre sujets par passage, et donc un par possibilité décrite.

E/ Définition des séries 1 et 2 en double tâche

Nous effectuerons un tirage au sort aléatoire de 4 scénarii possibles, répétés dans chacune des quatre possibilités, définies plus haut. Chaque série visuelle et auditive est composée de quatre messages dont deux seront présentés seulement avec la tâche de maintien de trajectoire (codage : **TD**, tâche double), et deux avec la tâche cognitive ajoutée (codage **TT**, tâche triple) :

- 1° : TD-TT-TD-TT
- 2° : TT-TT-TD-TD
- 3° : TT-TD-TT-TD
- 4° : TD-TD-TT-TT

SUJETS No	PASSAGE 1 / PASSAGE 2		
	TS	TD/TT	Ordre TD/TT
1	ordre 1	ordre 1	TT-TT-TD-TD
2	ordre 1	ordre 1	TT-TD-TT-TD
3	ordre 1	ordre 2	TD-TD-TT-TT
4	ordre 1	ordre 2	TT-TT-TD-TD
5	ordre 2	ordre 1	TT-TD-TT-TD
6	ordre 2	ordre 1	TT-TT-TD-TD
7	ordre 2	ordre 2	TT-TT-TD-TD
8	ordre 2	ordre 2	TD-TT-TD-TT

Tableau n° IV
Contrôle de l'effet d'ordre

III.4 Plan d'expérimentation

III.4.1 Variables explicatives

- * La complexité du partage de l'attention (une tâche, deux tâches, trois tâches)
- * Le mode de présentation du stimulus : L'information présentée au sujet sera soit visuelle (présentation sur écran), soit auditive.

Etant donné des contraintes de temps, nous avons sélectionné un plan d'expérience, nous permettant de répondre à nos hypothèses. Nous le présentons ci-dessous :

A/ Explication des temps de réponse (TR) des conducteurs (en milliseconde), en situation d'urgence, en fonction du mode de présentation (visuel, auditif), en situation d'attention partagée (deux ou trois tâches) ou non (une tâche) :

Plan d'expérience n° 1 :

Mode de présentation	Une tâche	Deux tâches	Trois tâches
Visuel	TR	TR	TR
Auditif	TR	TR	TR

Tableau n° V
Effet du mode de présentation sur les temps de réponse, en fonction du nombre de tâches

B/ Explication des évaluations subjectives des sujets au niveau de l'interférence des tâches, en fonction du mode de présentation de l'information (visuel/auditif) : Nous effectuerons des moyennes sur une échelle de 1 à 10, pour chaque item présenté.

III.4.2 Variables expliquées

- * Les temps de réponse au freinage, en simple, double et triple tâche :
 - Simple tâche : tâche de réponse au message d'alerte
 - Double tâche : simple tâche + tâche de maintien de trajectoire
 - Triple tâche double tâche + tâche de conversation
- * L'évaluation subjective des sujets, soit leur préférence suivant les différents modes de présentation de l'information du stimulus.
- * L'ordre du temps de réponse : en enregistrant quatre temps de réponse par modalité de présentation de l'information, une baisse des temps de réponse au quatrième temps peut être due à un effet fatigue, de par la conduite sur simulateur de conduite et la contrainte de double et triple tâche. Au contraire une amélioration peut signifier un effet d'apprentissage.

III.4.3 Variables contrôlées

- * L'effet d'ordre des temps de réponse en double et triple tâche pour chaque mode de présentation. Quatre séquences de succession des tâches ont été définies.
- * l'effet d'ordre tâche simple/attention partagée : les sujets commenceront alternativement, dans chaque catégorie d'âge, soit par la tâche simple, soit par la double tâche: débiter par une tâche pouvant présenter des aspects favorisant pour l'exécution de la deuxième.
- * l'effet d'ordre en attention partagée en fonction du mode de présentation du stimulus. Ainsi la moitié des sujets commenceront par la double tâche avec les stimuli visuels et l'autre moitié, avec les stimuli auditifs.

- * la variable sexe : Afin de contrôler des temps de réponse pouvant présenter des différences dues au sexe, nous prendrons un nombre équivalent d'hommes et de femmes, pour cette expérimentation.
- * la variable âge : Un groupe de sujet jeune a été sélectionné (compris entre 25 et 35 ans), afin de contrôler les différents effets dus au vieillissement.
- * l'expérience de conduite : Nous avons choisi uniquement des conducteurs experts (obtention du permis de conduire depuis un minimum de cinq ans et effectuant plus de 10 000 kilomètres par an). En effet, les conducteurs novices présentent des stratégies de conduite différentes des conducteurs experts. Il n'est pas dans notre but, ici présent, d'étudier ces différences.

III.4.4 Plan d'expérience

L'expérimentation comprend deux parties :

- * Partie 1 : en tâche simple, enregistrement des temps de réponse sur la pédale de frein aux signaux d'urgence (attention focalisée).
- * Partie 2 : en double tâche, tâche de guidage et tâche de réponse aux messages d'urgence (attention partagée).

en triple tâche : tâche de guidage + tâche cognitive ajoutée, et tâche de réponse aux messages d'urgence.

Les situations de double et triple tâche sont réalisées en même temps.

Les deux parties seront donc balancées alternativement sur l'ensemble des sujets, ceci explique que nous ayons deux plans expérimentaux : un pour chaque tâche, la moitié des sujets commençant soit par les tâches en attention partagée soit par la tâche simple.

		Sujets	Visuel			Auditif			Total
			TD	TT	Total	TD	TT	Total	
Passage 1	Ordre 1	1	2	2	4	2	2	4	8
		2	2	2	4	2	2	4	8
	Ordre 2	3	2	2	4	2	2	4	8
		4	2	2	4	2	2	4	8
Passage 2	Ordre 1	5	2	2	4	2	2	4	8
		6	2	2	4	2	2	4	8
	Ordre 2	7	2	2	4	2	2	4	8
		8	2	2	4	2	2	4	8
TOTAL		8	16	16	32	16	16	32	64

Tableau n° VI
Plan d'expérience en attention partagée

		Sujets	Mode de présentation		Total
			Visuel	Auditif	
Passage 1	Ordre 1	1	4	4	8
		2	4	4	8
	Ordre 2	3	4	4	8
		4	4	4	8
Passage 2	Ordre 1	5	4	4	8
		6	4	4	8
	Ordre 2	7	4	4	8
		8	4	4	8
TOTAL		8	32	32	64

Tableau n° VII
Plan d'expérience en tâche simple

III.4.5 Déroulement de l'expérience

1. Présentation de l'expérimentation et des différents signaux :

"Bonjour, vous allez passer une expérimentation sur simulateur de conduite. Vous pouvez utiliser les pédales de frein et d'accélérateur. La passation des vitesses se fait automatiquement. L'indicateur de vitesse fonctionne. Nous travaillons sur les systèmes anticollisions, qui sont des systèmes qui préviennent le conducteur d'un éventuel obstacle, non visible par le conducteur. L'envoi de ces informations se fait de manière auditive (information sonore) ou visuelle (information sur écran)".

2. Passation du questionnaire d'identification : 5 minutes (cf. Annexe II).

3. **Apprentissage de la conduite sur simulateur de conduite** sur un parcours comportant des courbes compliquées. On stoppe cet apprentissage, lorsqu'on estime que le conducteur maîtrise cette tâche de conduite complexe, en fonction de la prise des courbes et de la vitesse du véhicule. Puis on lui envoie quelques messages pour familiariser le sujet avec les différentes informations. On peut estimer ce temps total d'apprentissage de 10 à 15 minutes.

4. Passage de la première épreuve

- Passage 1 : enregistrement des temps de réponse, en tâche simple (TS)
 - Ordre 1 : Messages visuels + Pause + Messages auditifs
 - Ordre 2 : Messages auditifs + Pause + Messages visuels
- Passage 2 : enregistrement des temps de réponse en double tâche (DT).
 - Ordre 1 : Messages visuels + Passation de deux questionnaires d'évaluation subjective se rapportant au mode de présentation du stimulus présenté (pour 2 et 3 tâches).

- Ordre 2 : Messages auditifs + Passation de deux questionnaires d'évaluation subjective se rapportant au mode de présentation du stimulus présenté (pour 2 et 3 tâches).

Durée estimée : 20 à 25 minutes.

5. Pause de 10 minutes

6. Passage de la seconde épreuve

- Passage 1 : enregistrement des temps de réponse en attention partagée
 - Ordre 1 : Messages visuels + Passation de deux questionnaires d'évaluation subjective se rapportant au mode de présentation du stimulus présenté (pour 2 et 3 tâches).
 - Ordre 2 : Messages auditifs + Passation de deux questionnaires d'évaluation subjective se rapportant au mode de présentation du stimulus présenté (pour 2 et 3 tâches).
- Passage 2 : enregistrement des temps de réponse en tâche simple
 - Ordre 1 : Messages visuels + Pause + Messages auditifs
 - Ordre 2 : Messages auditifs + Pause + Messages visuels

Durée estimée : 20 à 25 minutes.

- ## **7. Passation d'un questionnaire d'évaluation** (cf. Annexe III), afin de comparer les deux modes de présentation du signal d'alerte (visuel et auditif). Durée estimée : 7 minutes.

Temps total par sujet: environ 1 heure 20.

IV. PRESENTATION DES RESULTATS

IV.1 Mise au point technique: Erreurs de mesure du temps de réponse

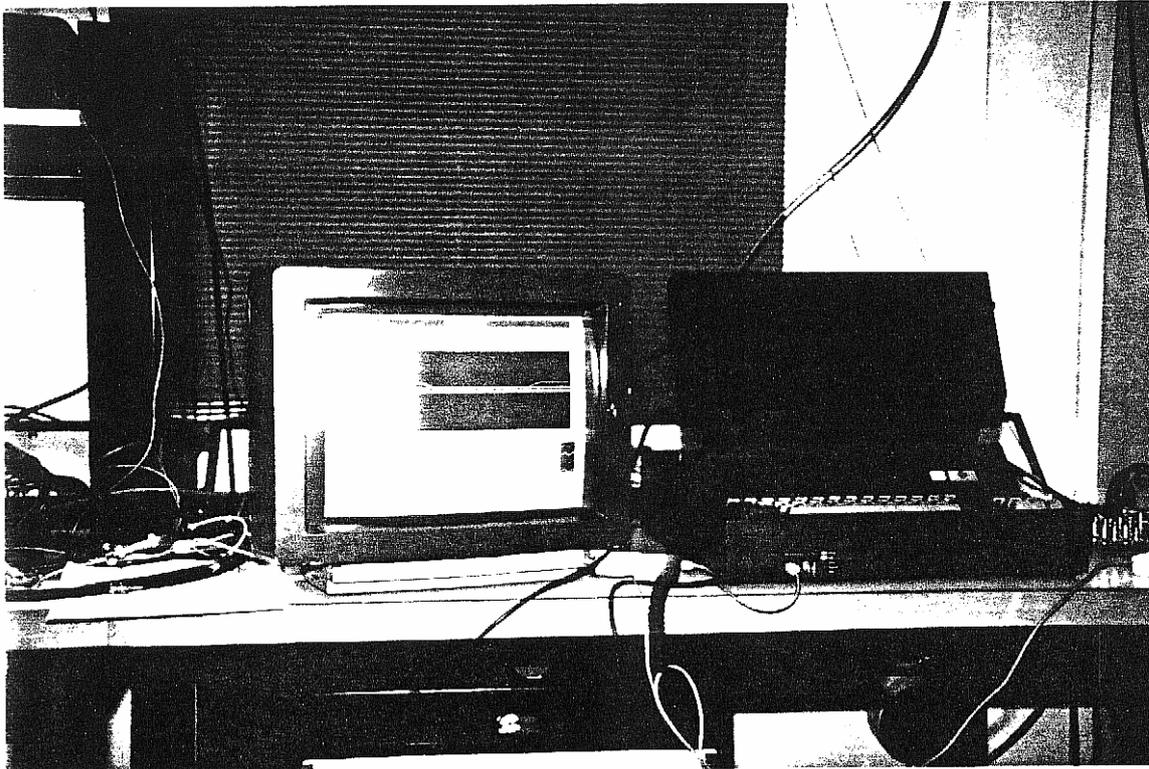
Lors des pré-expérimentations, certains incidents sont apparus au niveau de l'enregistrement des données sur le PC d'acquisition. Ceci nous a permis d'essayer de rechercher la source de ces erreurs et de les rectifier :

- * L'enregistrement du top message s'est révélé trop court, nous avons donc rallongé sa durée, afin de pouvoir évaluer un temps de réponse plus précis, en rapport avec le début du top message.
- * En comparant quelques fichiers de messages visuels et auditifs, nous nous sommes aperçus que le premier temps de réaction sur la pédale de frein était d'environ 400 millisecondes après le top message pour le signal visuel et de 1,4 seconde pour le signal auditif. Ce deuxième temps étant beaucoup trop long, nous avons posé l'hypothèse de l'existence d'un temps de latence pour l'émission du message auditif.

Des mesures de vérification et d'identification de ce temps de latence ont donc été effectuées sur un oscilloscope NICOLET 3091 à mémoire numérique. Sur cet oscilloscope, nous avons visualisé sur la voie 1, le top de commande d'apparition du message, et sur la voie 2, le message sonore. Il a ainsi été mis en évidence un décalage de temps entre le début du top message et le message effectif. Ce décalage a été moyenné sur 25 valeurs étant donné qu'il n'est pas constant (valeur minimale : 1,14 secondes ; valeur maximale : 2,10 secondes) et estimé à 1,18 secondes. Ce décalage a été tracé sur une table traçante recopiant l'acquisition oscilloscope.

Ainsi, ayant connaissance de ce décalage de 1,18 secondes, nous pensons pouvoir l'ôter au temps de réponse obtenu dans nos fichiers de messages auditifs. Mais, au regard des fichiers, il est apparu que nous ne pouvions travailler sur cette moyenne étant donné l'amplitude de ce temps de latence (entre 1,14 secondes et 2,10 secondes). Ainsi, si nous retirons la valeur de 1,18 secondes sur un temps de réponse n'ayant un temps de latence que de 1,14 seconde, nous obtenons un temps de réponse qui se déclenche en même temps que l'apparition du top message. Il est donc apparu totalement impossible d'exploiter les données des fichiers auditifs.

En ce qui concerne les messages visuels, sur 16 valeurs, la moyenne des temps de latence est de 60,2 millisecondes (valeur minimale : 50,9 millisecondes ; valeur maximale 71,8 millisecondes), ce qui est relativement négligeable.



Graphique n° 8

Enregistrement des temps de réponse (dispositif expérimental)

La mesure de temps de réponse dépend du sujet mais aussi de l'environnement technique qui en assure la précision. Ainsi, nous avons remis en question l'échantillonnage d'enregistrement des données. Un échantillonnage à 10 Hertz ait apparu assez imprécis du fait que le temps enregistré est d'une précision de 200 millisecondes (100 millisecondes au niveau de l'enregistrement du top message et 100 millisecondes au niveau de l'enregistrement de l'appui sur la pédale de frein), c'est-à-dire que sur un temps de réponse de 400 millisecondes, l'imprécision est de la moitié de ce temps.

Nous avons donc essayé de mettre au point une méthodologie de mesure des temps de réponse plus précise. Ainsi, nous avons modifié notre échantillonnage de 10 Hertz à 100 Hertz. L'erreur de mesure mesurée est donc dix fois plus précis.

Pour chaque temps de réponse, nous avons inséré une nouvelle colonne dans le fichier d'enregistrement des données permettant de visualiser la forme du signal électrique correspondant au message visuel ou auditif. Ainsi nous pouvons mesurer le temps écoulé entre le top message et l'apparition effective du message (temps de latence) pour chacun des tests et pour chaque sujet. Ce temps sera déduit lors du traitement des données. Nous ne travaillons plus sur des moyennes de temps de latence, mais sur la donnée exacte.

Il sera intéressant de pouvoir comparer les temps de réponse enregistrés à 10 Hertz et à 100 Hertz, et de calculer si cette différence était significative entre les temps de réponse obtenus au freinage avec le mode visuel, en double et triple tâche. Nous aurions ainsi su quelle précision est nécessaire dans la mesure des temps de réponse sur les pédales.

A partir du fichier échantillonné à 100 Hertz, nous essaierons de vérifier nos hypothèses de travail concernant la différence de temps de réponse en fonction du mode de présentation de l'information et le partage de l'attention entre une ou plusieurs tâches.

IV.2 Analyse des temps de réponse

Nous rappellerons brièvement qu'elles étaient les tâches à effectuer :

- * en tâche simple, le sujet devait répondre par un appui sur la pédale de frein dès la perception d'un message soit visuel, soit auditif : tâche de surveillance des messages.
- * en double tâche, le sujet devait effectuer une tâche de tracking sur simulateur de conduite et simultanément la tâche de surveillance des messages.
- * en triple tâche, une tâche cognitive de conversation était ajoutée aux deux précédentes.

Les temps de réponse analysés ci-après concernent l'échantillon de sujets enregistrés à 100 Hertz. Pour le calcul de chaque temps, nous avons retiré le temps de latence équivalent à la différence entre le chargement du message et son apparition effective.

Par l'intermédiaire du test de Student, qui permet d'effectuer des comparaisons de moyenne, réalisé sur le logiciel SPSS sous Windows, pour les groupes appariés, nous allons vérifier si les différences observées lors de l'analyse descriptive sont significatives ou pas. L'objectif est d'essayer de mettre en évidence la significativité des variations observées, compte tenu de la variabilité inter et intra individuelle, et du fait que l'échantillon de sujets est relativement restreint. Nos résultats vont pouvoir nous donner un premier aperçu, pour une expérimentation ultérieure. Ils expriment des tendances.

Nous ne relaterons que les résultats où sont apparus des différences significatives à P.05.

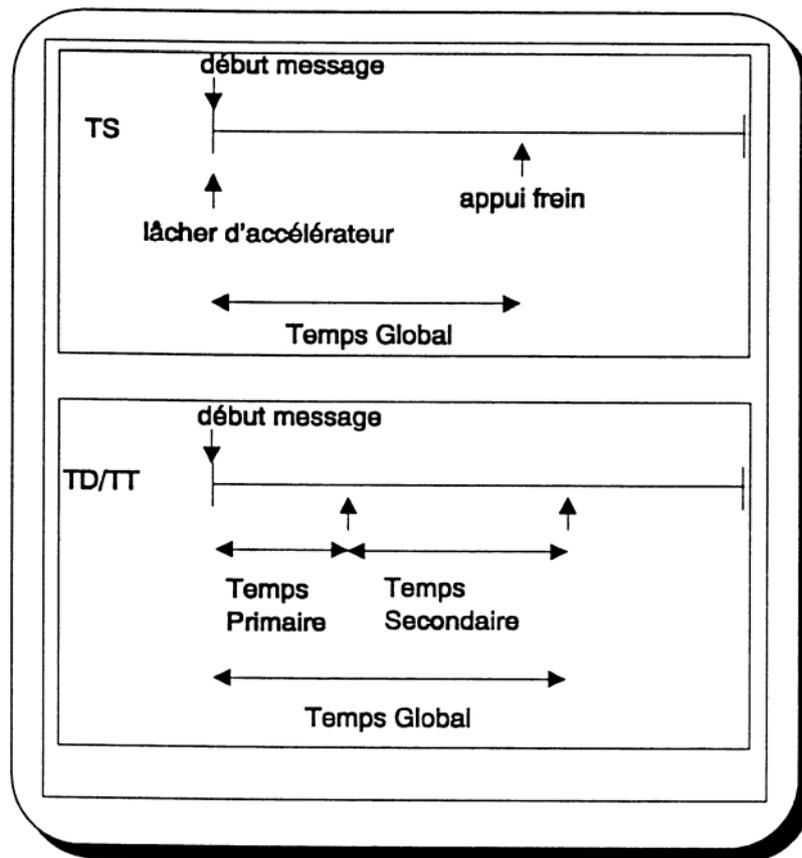
En référence à l'article de **Lings** (1991), nous distinguerons dans le temps de réaction deux sous-temps : un temps primaire qui correspond au lâcher total de l'accélérateur (à 100 %), c'est-à-dire la première commande active selon **Malaterre et Lechner** (1989). Un temps secondaire qui correspond à l'appui pédale de frein de 0 à 100 % d'enfoncement total de cette pédale.

La somme de ces deux temps correspond au temps de réaction à un message d'alerte.

Nous prendrons en temps de référence la différence entre le début d'apparition du message et le premier point d'action sur la pédale de frein, pour le temps de réponse sur la pédale de frein, en tâche simple (TS).

En double et triple tâche (TD/TT, nous prendrons comme temps de réponse sur la pédale d'accélérateur (temps primaire), la différence entre l'apparition du message et le premier point de relâchement total de la pédale d'accélérateur. Le deuxième temps (temps secondaire) correspondra à la différence entre le premier point d'action sur la pédale de frein et le relâchement de la pédale d'accélérateur.

Nous ne prenons en compte que le premier point étant donné que nous ne prenons pas en considération les conditions morphologiques et musculaires des sujets, ces aspects jouant un rôle dans la rapidité d'enfoncement de la pédale. Le premier point considéré correspond bien à l'action sur la pédale et non à des variations parasitaires.



Graphique n° 9
Définition des temps de réponse

IV.2.1 Description des fichiers

Pour chaque sujet, nous avons soustrait le temps de latence au temps de réponse afin d'obtenir un temps de réponse le plus précis possible. La moyenne et l'écart type ont été calculés pour chaque fichier sur l'ensemble des sujets, en fonction du mode de présentation de l'information (visuel ou auditif) et du nombre de tâches à exécuter. Tous ces calculs sont regroupés dans le tableau suivant. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de données sur lesquelles ont été calculées la moyenne et l'écart-type. En théorie, nous devrions avoir 28 données en tâche simple (7 sujets * 4 temps de réponse) et 14 données en tâche double et triple (7 sujets * 2 temps de réponse). Des problèmes d'ordre technique font que certains temps n'ont pas été enregistré avec le mode de présentation visuel. Les fichiers recueillis comportent donc entre 12 et 13 données (cf. Annexe IV).

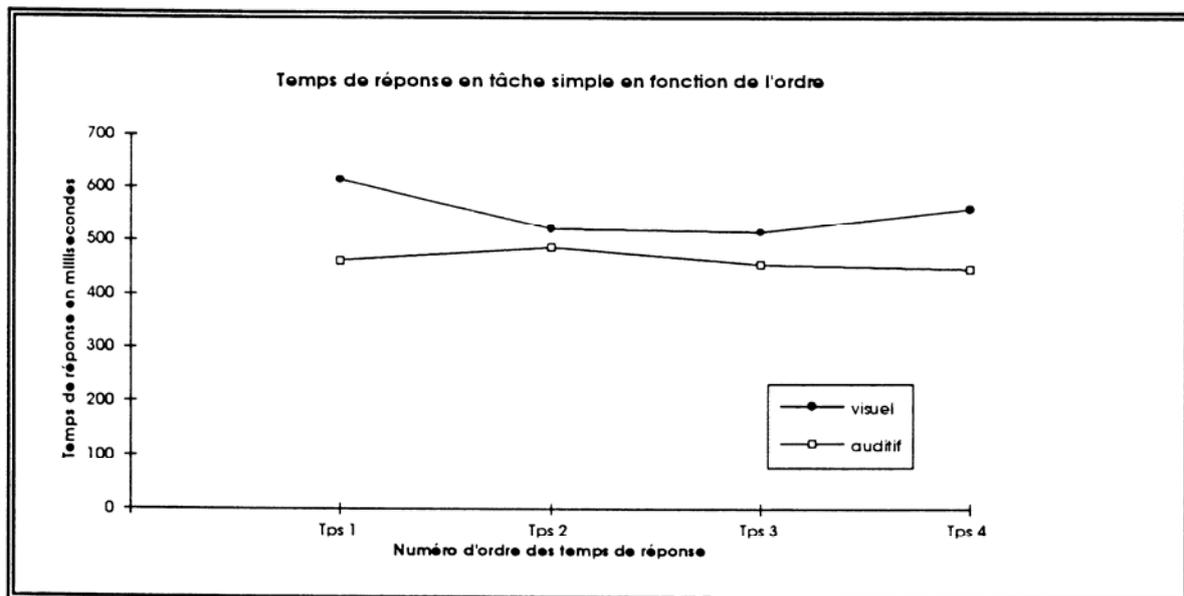
F/ Effet sujet

En regardant les fichiers, nous nous sommes aperçus qu'un sujet avait répondu deux fois plus lentement (1 620 millisecondes, en tâche double, la moyenne du groupe de sujets étant de 720 millisecondes) que le reste de la population, au message visuel (cf. Annexe IV). Ce résultat peut expliquer une moyenne des temps de réponse beaucoup plus élevée pour les messages visuels. Notre choix a été de garder ce résultat pour plusieurs raisons. Tout d'abord nous travaillons sur un petit échantillon (7 sujets représentant entre 12 et 14 données par fichiers), où étant donné ce panel restreint de la population des conducteurs jeunes, chaque temps de réponse peut être représentatif du comportement du conducteur, même s'il n'est apparu qu'une fois. L'analyse des résultats porte sur sept sujet parce qu'un des sujets ne peut être traité, les données n'ayant pas été enregistrées.

De plus, en consultant les fichiers de temps de réponse obtenus lors de l'expérimentation avec un échantillonnage à 10 Hertz, sur une autre population de sujets, nous constatons plusieurs temps de réponse de cet ordre de longueur (environ 1.5 secondes) au message visuel. Ceci indiquerait que ce temps de réponse est représentatif d'un comportement du conducteur et non dû à des variations autres.

G/ Effet d'ordre des temps de réponse en tâche simple

Le graphe et le tableau suivant présentent les temps de réponse moyens obtenus en tâche simple, aux messages visuels et sonores en fonction de leur ordre d'apparition.



Graphique n° 10
Temps de réponse en tâche simple en fonction de l'ordre

		1° Essai	2° Essai	3° Essai	4° Essai
Présentation visuelle	Moyenne	614 ms	522 ms	515 ms	560 ms
	Ecart-type	142 ms	96 ms	121 ms	176 ms
Présentation auditive	Moyenne	462 ms	487 ms	455 ms	447 ms
	Ecart-type	63 ms	75 ms	64 ms	62 ms

Tableau n° VIII
Temps de réponse moyen en tâche simple, en fonction de l'ordre

Un T de Student a été réalisé sur les temps de réponse obtenus, pour l'ensemble des sujets, en tâche simple, en fonction de l'ordre (cf. Annexe V). Nous avons ainsi comparé chaque temps de réponse avec les autres, afin de voir si des différences significatives apparaissent dans la moyenne des temps de réponse, en fonction de son passage d'apparition (nombre d'essais).

Messages Visuels

Nous constatons que le temps de réponse au premier message visuel (614 millisecondes) est le plus long, puis il diminue progressivement, pour se rallonger au quatrième message (560 millisecondes). Le fait que le premier message soit plus long que les suivants peut s'expliquer par un effet de surprise de la part du sujet étant donné que c'est la première fois qu'il voit ce message. Un effet d'apprentissage peut aussi expliquer que les temps suivants sont plus courts. De plus, on souligne une différence à P.05 entre le premier (614 ms) et le deuxième (522 ms) message (.016).

Par contre, le fait que le dernier message présenté soit plus long aurait pu être dû à un effet fatigue. Mais, il n'est pas à noter de différences significatives validant cette hypothèse.

Messages Auditifs

Pour les messages auditifs, on ne constate pas de différence significative à P.05 entre les messages en fonction du nombre d'essai, bien que l'on puisse noter que la courbe des messages auditifs va en décroissant. En effet, le temps le plus long, avec les messages auditifs est le second (487 millisecondes) et le plus court est le dernier (447 millisecondes). Il n'apparaît pas d'effet fatigue avec les signaux sonores.

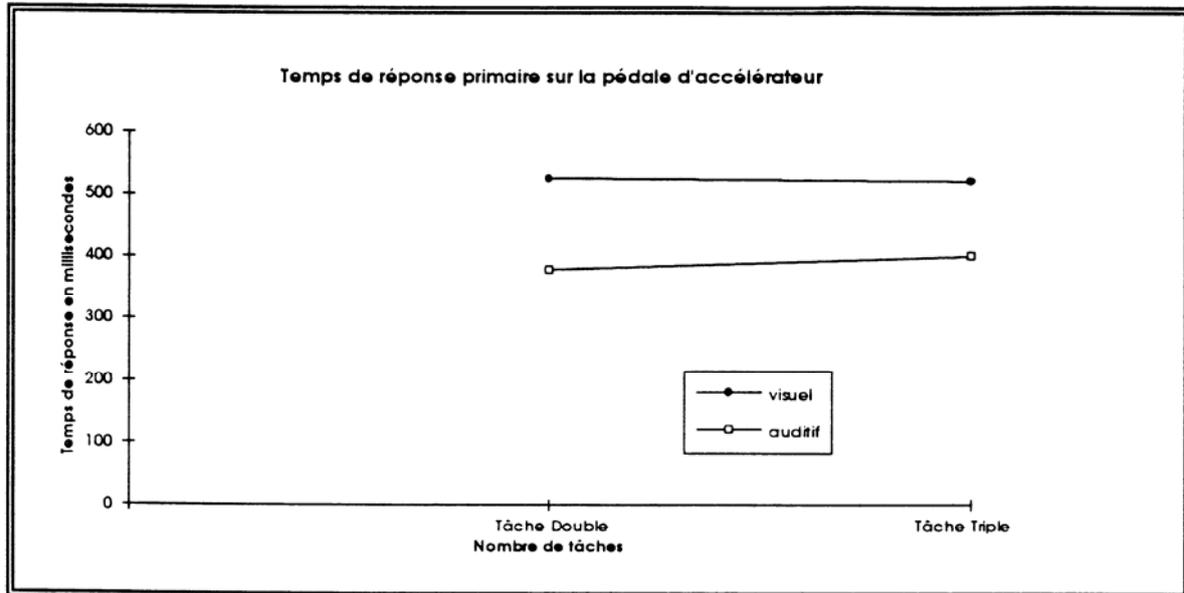
Ceci aurait pu laisser supposer un éventuel effet d'apprentissage, permettant un temps de réponse de plus en plus rapide, mais il n'a pas été démontré, un plus grand nombre d'essais s'avérerait nécessaire.

L'effet d'apprentissage apparaît différent en fonction du mode de présentation de l'information.

H/ Variabilité des temps de réponse primaire et secondaire

Les graphes présentés ci-après mettent en évidence les écarts de temps de réponse en fonction du message et du partage de l'attention.

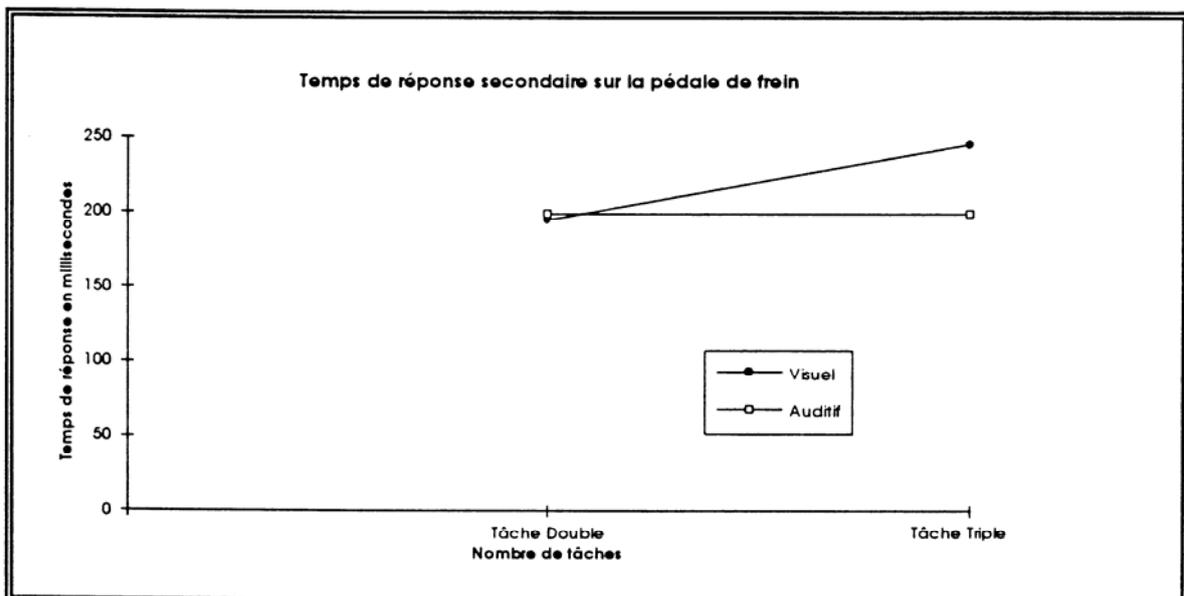
Ces deux graphes correspondent au temps primaire puis secondaire, définis par Lings (1991). Pour ces deux temps, nous n'avons point de données en tâche simple, étant donné que les sujets devaient avoir le pied sur la pédale d'accélérateur, mais ils n'appuyaient pas dessus comme en situation de conduite. On ne peut donc décomposer le temps obtenu en deux étapes.



Graphique n° 11
Temps de réponse primaire sur la pédale d'accélérateur

Le temps de réponse primaire ne semble pas varier selon le nombre de tâches à exécuter :

- Présentation visuelle : 525 ms en tâche double et 520 ms en tâche triple
- Présentation auditive : 384 ms en tâche double et 395 ms en tâche triple.



Graphique n° 12
Temps de réponse secondaire sur la pédale de frein

Le temps de réponse secondaire apparaît pratiquement identique, pour la modalité auditive, indépendamment du nombre de tâches, en attention partagée : 196 ms en tâche double et 193 ms en tâche triple.

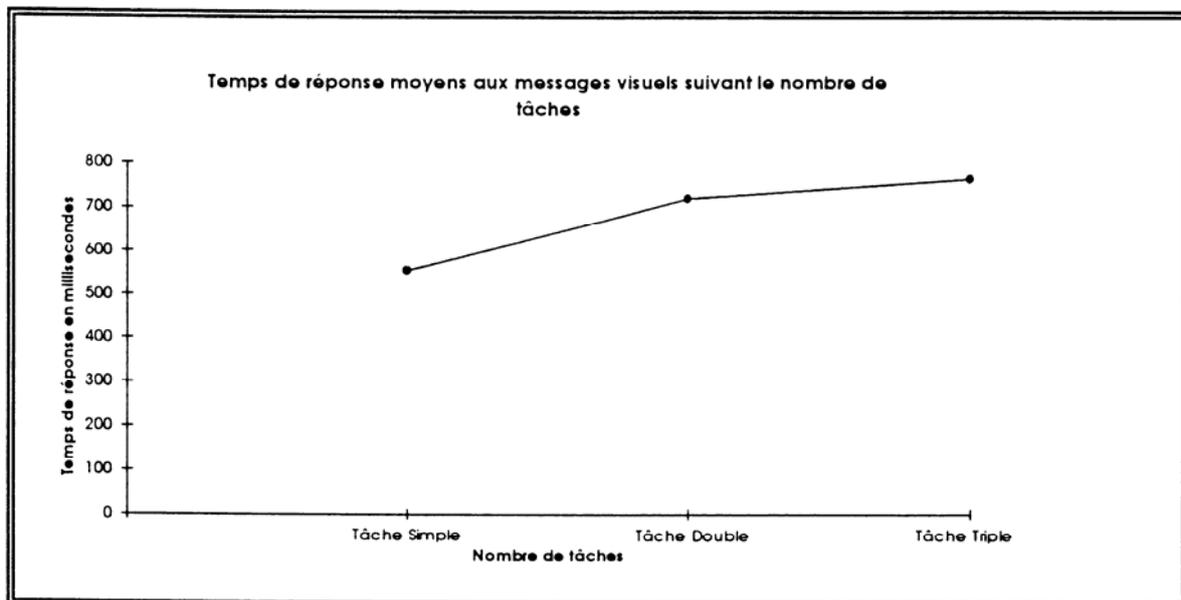
Par contre, on constate une nette augmentation du temps de réponse en tâche triple avec la modalité visuelle : 196 ms en tâche double et 245 ms en tâche triple, mais cette différence n'est pas significative au T de Student à P.05 (cf. Annexe VI).

L'analyse de ces graphes nous permet de constater que le temps de réponse primaire est beaucoup plus long que le temps de réponse secondaire, en double et triple tâche, pour les deux modes de présentation de l'information. Ceci est tout à fait logique, puisque dans le temps de réponse primaire est compris le temps de prise et traitement de l'information, c'est-à-dire perception du message avec identification, prise de décision et choix de l'action. Le temps secondaire est juste un temps physiologique correspondant au déplacement du pied de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein. il ne semble pas sensible à l'objet étudié.

A la vue de ces graphes, nous constatons un temps de réponse plus rapide au message auditif, quelque soit le nombre de tâches à exécuter. Ce temps de réponse au message auditif apparaît significativement différent (cf. Annexe VII) pour le temps de réponse primaire en tâche triple, de celui obtenu avec un message visuel (.040).

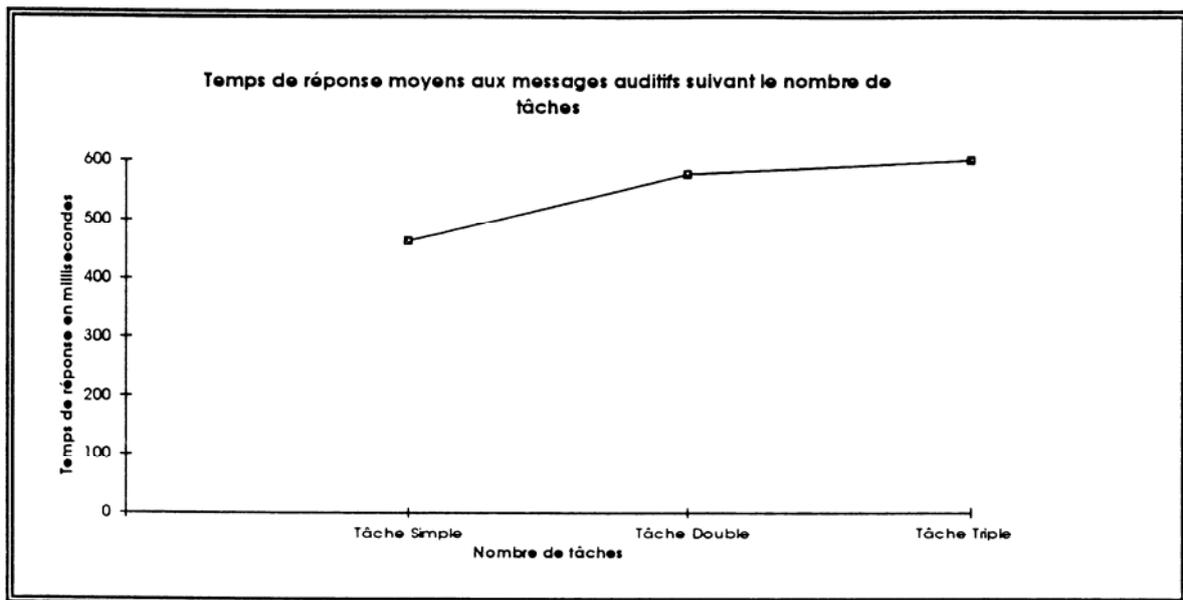
Aucune différence significative n'est à noter dans les variations des temps de réponse primaire et secondaire, en fonction du nombre de tâches.

I/ Comparaison des temps de réponse aux messages visuels et sonores



Graphique n° 13

Temps de réponse moyens aux messages visuels suivant le nombre de tâches



Graphique n° 14

Temps de réponse moyens aux messages auditifs suivant le nombre de tâches

Il est à constater que les temps de réponse moyens sont plus rapides avec le mode auditif que visuel, ce qui est en accord avec les données relevées dans la littérature (Lings, 1991).

Il existe une différence significative (.002) entre les deux modes de présentation au niveau des temps de réponse moyens en tâche simple : 553 ms avec le mode visuel et 463 ms avec le mode auditif (cf. Annexe VIII).

De même, en triple tâche, les temps de réponse moyens sont significativement différents (.022) entre les deux modes : 765 ms avec le mode visuel et 600 ms avec le mode auditif. Si cette différence existe au niveau du temps de réponse global, on peut de même la constater au niveau du temps de réponse primaire avec une significativité à .040. La différence de temps de réponse entre les deux modes se situerait donc au niveau du traitement de l'information. Le temps nécessaire pour traiter deux informations visuelles (520 ms) simultanément apparaît plus long que pour traiter deux informations mixtes (400 ms).

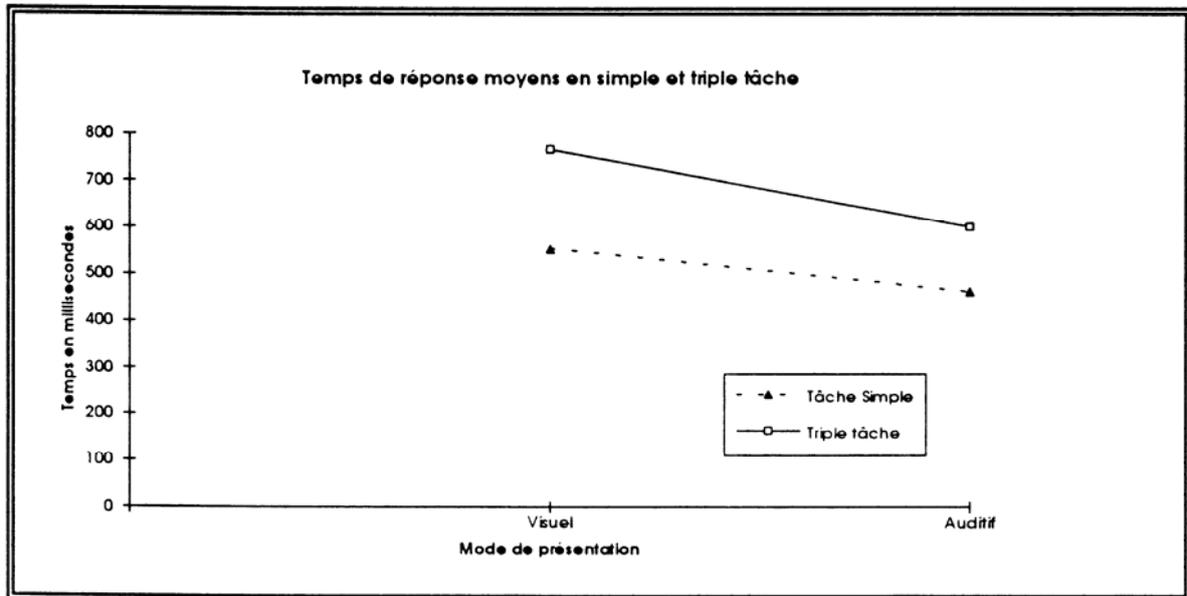
Mais, déjà en tâche simple, on remarque que les temps de réponse à une modalité auditive sont significativement plus rapides, ce qui se retrouve en attention partagée. Les temps de réponse à un stimulus auditif sont plus rapides qu'à un stimulus visuel en simple tâche, donnée courante dans la littérature (**Chocholle**, 1963), mais aussi en attention partagée.

J/ Effet du partage de l'attention

Afin de vérifier notre hypothèse de travail concernant le partage de l'attention entre une ou plusieurs tâches, nous avons réalisé le test de Student (cf. Annexe IX) afin de voir s'il apparaît des différences significatives entre les temps de réponse (primaire, secondaire et global) en fonction du nombre de tâche à effectuer, ceci pour chaque mode de présentation de l'information.

Il apparaît des différences significatives à P.05 et P.01 entre simple et triple tâche que ce soit avec :

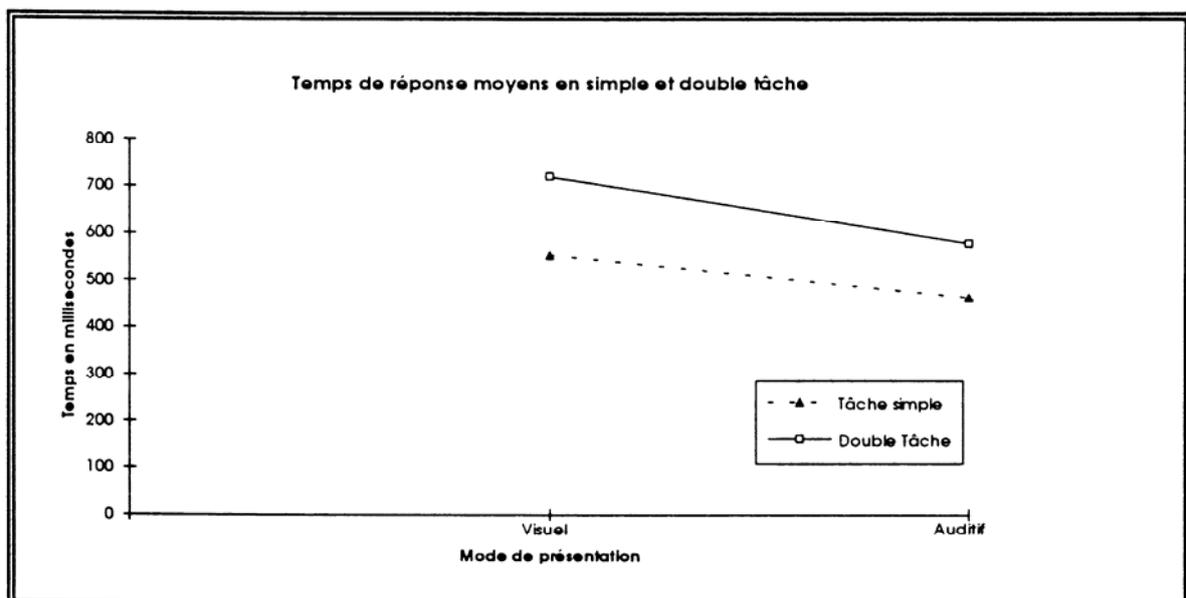
- une modalité auditive (.000) : 463 ms en simple tâche et 600 ms en triple tâche.
- une modalité visuelle (.034) : 550 ms en simple tâche et 765 ms en triple tâche.



Graphique n° 15
Temps de réponse moyens en simple et triple tâche

De même, ces différences existent entre simple et double tâche avec

- le mode auditif (.000) : 463 ms en simple tâche et 577 ms en double tâche.
- le mode visuel (.016) : 553 ms en simple tâche et 720 ms en double tâche.



Graphique n° 16
Temps de réponse moyens en simple et double tâche

Ainsi, peu importe le mode de présentation, le temps de réponse moyen diffère significativement entre une ou plusieurs tâches à réaliser simultanément.

Par contre, il n'apparaît aucune différence notable entre le fait que le sujet ait deux et trois tâches à exécuter.

K/ Interaction des facteurs

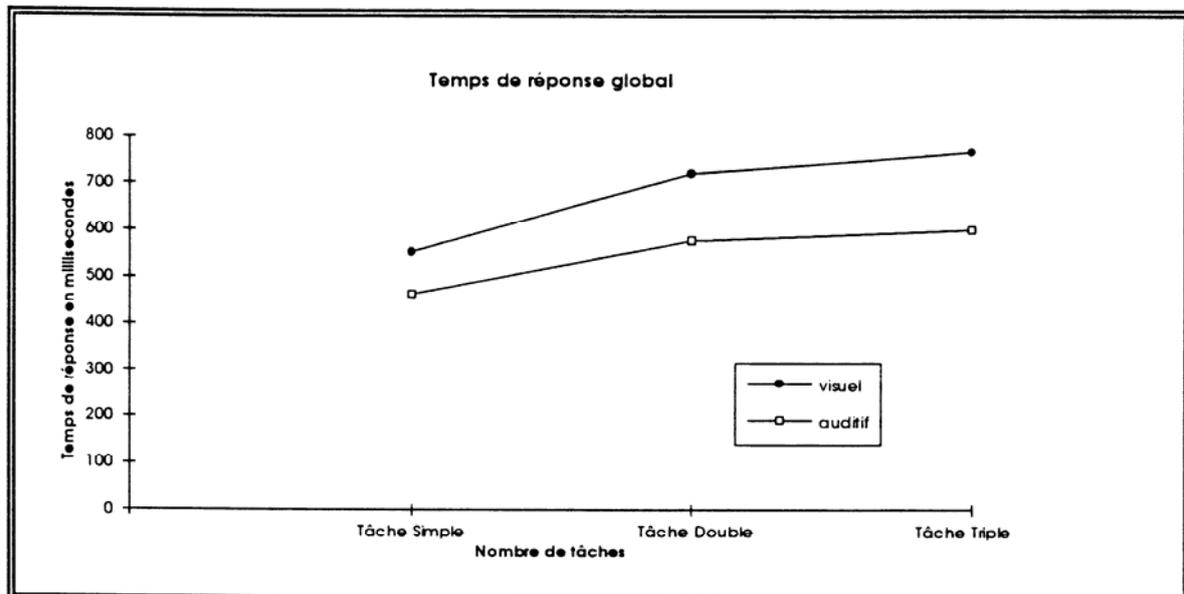
Mode de présentation		Tps primaire		Tps Secondaire		Tps global		
		TD	TT	TD	TT	TS	TD	TT
Visuel	Moyenne	525 ms	520 ms	195 ms	245 ms	553 ms	720 ms	765 ms
	Ecart-type	284	169	54	157	135	286	214
Auditif	Moyenne	378 ms	400 ms	199 ms	199 ms	463 ms	577 ms	600 ms
	Ecart-type	199	199	44	37	64	105	102

Tableau n° IX

Temps de réponse moyens suivant le mode de présentation et le nombre de tâches (tableau récapitulatif)

Le graphe suivant représente le temps de réponse global, c'est-à-dire la durée entre l'apparition du message et le premier point d'appui sur la pédale de frein. Ce temps est donc la somme des deux temps : primaire et secondaire.

Il est présenté en fonction du nombre de tâches (partage de l'attention) et du mode de présentation (visuel, auditif).



Graphique n° 17
Temps de réponse global

En synthèse de tout ceci, il est à noter l'existence de différence significative entre les temps de réponse moyens obtenus en tâche simple et en attention partagée. Ceci est valable pour les deux modes de présentation de l'information. On remarque donc une augmentation progressive des temps de réponse en fonction du nombre de tâches à exécuter, mais en attention partagée cette augmentation n'apparaît pas significative selon si le sujet deux ou trois tâches simultanément.

Les temps de réponse sont plus rapide avec la modalité auditive que visuelle, et les temps de réponse moyens, les plus longs, sont ceux obtenus en tâche triple avec la modalité visuelle. De plus, ils sont significativement différent de ceux obtenus dans les mêmes conditions avec la modalité auditive.

IV.3 Dépouillement des questionnaires d'évaluation subjective

Lors des pré-expérimentations et expérimentations avec un échantillonnage à 10 Hertz, nous avons fait passer aux sujets les questionnaires d'évaluation subjective. Ainsi, nous pouvons réaliser l'analyse des questionnaires sur un nombre important de sujets : 22 à 10 Hertz et 7 à 100 Hertz, soit 29 sujets ont réalisé l'expérimentation et répondu à ces questionnaires d'évaluation subjective :

1. Mode de présentation trouvé le plus agréable : Pour 17 sujets, le signal visuel est trouvé plus agréable car moins agressif.
2. Mode de présentation préféré en situation réelle (dans le véhicule) : Pour 24 sujets préféreraient voir installer dans le véhicule un système avec un signal auditif
3. Mode de présentation le plus perturbant : Pour 21 sujets, le message visuel est plus perturbant
4. Mode de présentation le plus significatif pour indiquer une situation d'urgence Pour 22 sujets, le signal auditif est plus significatif.
5. Perte de contrôle du véhicule : 3 sujets ont eu l'impression de perdre le contrôle du véhicule dont 2 avec le message auditif et un avec le message visuel.
6. Utilité du système : 26 sujets trouvent ce système utile dont : 5 avec le message visuel, 2 avec les deux signaux associés et 22 avec le signal auditif.

On constate que majoritairement le système avec un message auditif est préféré même s'il est plus agressif, car il permet un éveil de l'attention.

Après chaque passage, en double et triple tâche, le sujet devait répondre à une échelle de jugement en fonction du mode de présentation (visuel ou auditif). Ces questionnaires seront dépouillés ultérieurement et permettront une analyse plus fine pour l'évaluation de la charge mentale en attention partagée.

V. DISCUSSION

Etant donné le nombre restreint de données que nous avons recueillies, il est certain que la discussion qui va suivre peut nous servir de piste ou d'indicateur pour de futurs travaux, mais ne peut en aucun cas être généralisée. Nous nous contenterons donc de soulever des hypothèses ou probabilités qui sont à confirmer sur un échantillon plus large.

V.1 Choix du mode de présentation

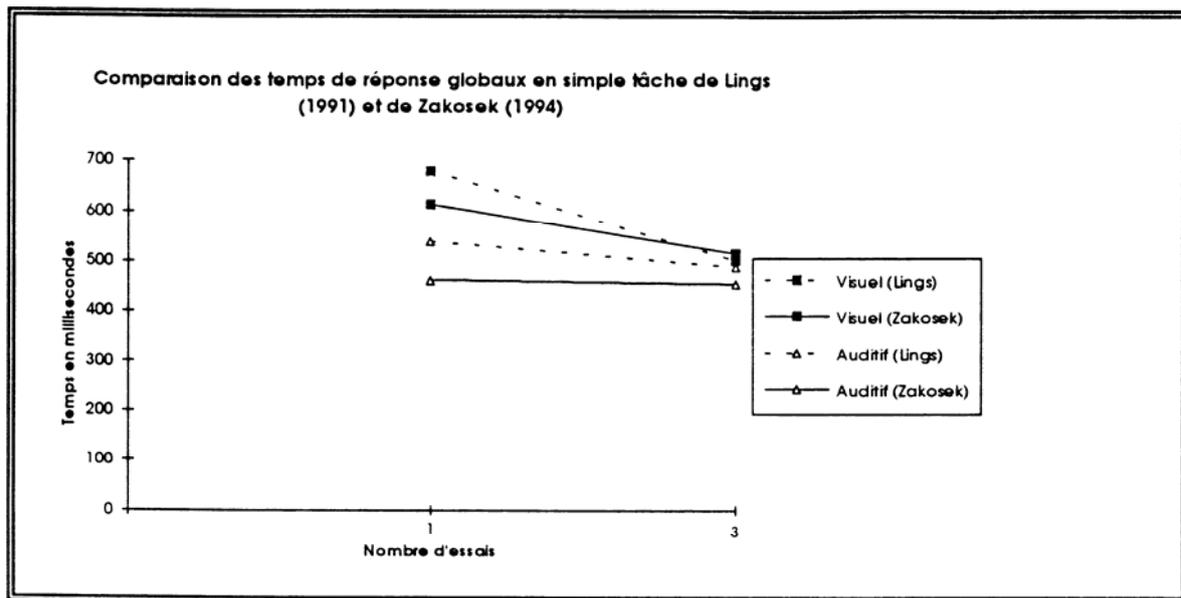
Rappelons que les temps de réponse avec la modalité auditive sont les plus rapides.

Lings (1991) a enregistré des temps de réponse à des signaux visuels et sonores, en simple tâche. Les sujets sont placés dans une maquette de véhicule et doivent répondre par un appui pédale dès l'apparition du message. Nous pouvons donc comparer nos résultats, en simple tâche, aux siens. Il est à souligner que la sélection de nos sujets varie grandement en fonction de l'âge puisque le groupe de sujets de Lings comprend 109 sujets entre 27 et 85 ans (moyenne à 49 ans), alors que notre échantillon est composé de 7 sujets entre 25 et 35 ans.

	Visuel		Auditif	
	1° essai	3° essai	1° essai	3° essai
Tps primaire	356	276	306	270
Tps secondaire	323	225	234	218
Tps global (Lings)	679	501	540	488
Tps global (Zakosek)	614	515	462	455

Tableau n° IX
Temps de réponse en fonction du mode de présentation (Lings, 1991)
(en millisecondes)

Nous comparerons nos résultats, au niveau du temps de réponse global. On constate que les temps de réponse aux deux expérimentations sont d'environ du même ordre, bien que nos temps de réponse sont légèrement inférieurs pour les deux modes de présentation et ne diminuent pas aussi régulièrement en fonction du nombre d'essai. On ne constate pas un net effet d'apprentissage.



Graphique n° 18

Comparaison des temps de réponse globaux en tâche simple de Lings (1991) et Zakosek (1994)

La précision de la technique de mesure et d'enregistrement des temps de réponse est un facteur important. **Lings**, dans son article ne donne pas de précision quand à ce point (fréquence d'échantillonnage, éventuel temps de latence...). La seule information concerne l'emplacement des capteurs sur les pédales directement au contact du pied. Notre point de référence est le premier point de contact avec la pédale, ce qui peut expliquer des différences de temps de réponse.

Dans les deux études, nous pouvons constater, que les temps de réponse sont plus rapide lorsqu'il s'agit d'un signal sonore que visuel. Ceci confirme donc nos résultats, les sujets semblent répondre plus rapidement à un message auditif.

De plus **Lings** a enregistré trois temps de réponse par sujet afin de constater un éventuel effet d'apprentissage. Il obtient des différences significatives entre le premier et le troisième essai, ce que nous ne vérifions pas. Mais il est clair que le temps de réponse au premier essai est tout le temps plus long.

Malaterre et Lechner (1989) ont réalisé une expérimentation sur simulateur de conduite en tâche simple où ils enregistrent les temps de réponse au freinage des conducteurs à un obstacle placé sur le circuit. Ils distinguent deux temps : le temps de première action qui correspond au lâcher d'accélérateur et un temps de freinage qui correspond au lâcher d'accélérateur plus l'appui sur la pédale de frein. La définition de ces deux temps est équivalente à la notre, seule la nomination changeant : temps primaire et temps global.

Si nous regardons nos résultats obtenus en double tâche, le temps primaire est de 525 millisecondes avec un message visuel et de 378 millisecondes avec un message auditif. Les temps recueillis par **Malaterre** et **Lechner** sont de 810 millisecondes quand le conducteur est non averti et de 620 millisecondes lorsque le conducteur est averti. Nos temps de réponse à un message prévenant d'un obstacle sont bien plus courts même, lorsque le conducteur est averti de la présence de l'obstacle. Ceci met en évidence toute la pertinence et l'utilité du système anticollisions.

Le temps global est de 720 millisecondes pour le visuel et de 463 millisecondes pour l'auditif, dans notre expérimentation, et de 940 millisecondes quand le conducteur n'est pas averti, et de 740 millisecondes quand le conducteur est averti (**Malaterre** et **Lechner**, 1989). Au niveau du temps global, on peut constater que nos résultats sont très proches lorsque le conducteur est averti.

Ainsi, la différence apparaît clairement dans le temps mis pour réaliser la première action, c'est-à-dire percevoir l'obstacle, l'identifier et mettre en place une action (lever le pied de l'accélérateur), d'où toute l'importance d'un système qui prévienne de l'arrivée d'un obstacle, puisque le conducteur va d'abord lever le pied de la pédale d'accélérateur dès l'apparition du message avant d'avoir perçu l'obstacle. Il va répondre à l'apparition du message. Alors qu'en situation averti, il a certes un comportement plus prudent, mais il ne commencera à lever le pied de l'accélérateur qu'une fois l'obstacle perçu.

Malaterre et coll. (1987b) ont enregistré des temps de réponse au freinage, lors d'une expérimentation sur piste. La moyenne du temps de freinage est de 2.82 secondes pour une manoeuvre d'urgence. On constate que ces temps sont relativement plus longs que nos temps de réponse obtenus à un message, quelque soit son mode de présentation, puisque la moyenne des temps de réponse la plus longue est de 765 millisecondes en triple tâche. Ceci démontre tout l'intérêt de vérifier des résultats obtenus sur simulateur de conduite, en site réel.

Olson et Sivak (1986) ont comparé les temps de réponse des conducteurs à un obstacle, lors d'une expérimentation sur piste, suivant deux conditions : conducteurs alertés ou non. Les temps de réponse lorsque le conducteur est alerté sont significativement plus courts, ce qui montre l'importance et l'utilité d'un système prévenant le conducteur. Au 50^e percentile, les conducteurs alertés répondent en un peu plus de 700 millisecondes et en 1 100 millisecondes lorsqu'ils ne sont pas alertés de la survenue de l'obstacle.

Au terme de ces expérimentations, on peut mettre en évidence que le temps de réponse du conducteur à un obstacle lorsqu'il est prévenu est de l'ordre de 700 à 750 millisecondes. De plus ce temps est significatif en comparaison à des situations où il n'est pas averti.

Cet ordre de temps de réponse semble confirmé dans d'autres expérimentations (cf. **Malaterre**, 1986a).

Le rapport **STAMMI** (1992) fait état des temps de réaction des conducteurs français à des signaux visuel et sonore. Ce temps comprenant le temps nécessaire au traitement de l'information (perception, décision, action motrice), est compris entre 0.15 et 0.8 secondes pour un signal visuel et entre 0.36 et 0.9 secondes pour un signal auditif. L'ordre de nos temps de réponse, quelque soit le nombre de tâches à exécuter est bien compris dans cet ordre de grandeur.

V.2 Attention partagée

L'objectif était d'évaluer un type de la capacité fonctionnelle des conducteurs, en attention partagée, sous contrainte de temps. En mesurant les temps de réponse au freinage, nous pouvons mettre en évidence les processus mis en jeu, en fonction du nombre de tâches à exécuter. Pour ceci, nous avons posé deux hypothèses de travail faisant référence à deux approches théoriques.

V.2.1 Traitement de l'information en double tâche

Une de nos hypothèses de travail se référait à la politique d'allocation de ressources en temps partagé de **Wickens** (1984, in Eyrolle et Pacquiot, 1989). Cette approche en terme de capacité postule que nous possédons une quantité totale de ressources générale. Ainsi, deux tâches utilisant le même canal sensoriel seront exécutées successivement, et, au contraire simultanément, si elles utilisent deux canaux sensoriels différents et si elles ne dépassent pas la capacité totale de ressources. L'hypothèse qui en découle est qu'un système anticollision à modalité auditive serait plus adapté, du fait qu'il n'utilise pas le canal sensoriel dominant pour la tâche de conduite (canal visuel).

Ainsi, en associant une tâche de maintien de trajectoire à dominante visuelle et une tâche de reconnaissance de message à dominante auditive, nous avons pu montrer que les temps de réponse sont plus rapides qu'en associant une tâche de reconnaissance de message à dominante visuelle.

Il est à noter que dans cette étude, notre objectif n'était pas d'étudier les déviations de trajectoire afin de mesurer la dégradation d'une des tâches, mais plutôt de voir si en fonction du mode de présentation, les temps de réponse variaient. Une variation indique une différence dans le traitement de l'information. On peut quand même noter que les temps de réponse semblent plus rapides avec la modalité auditive, mais peut être ont-ils un effet plus perturbateur qui interfèrent sur la tâche de conduite. Cette remarque a toute son importance, car nous avons mis en avant dans la partie théorique, que nombre de collisions pourrait être évité par une manoeuvre adaptée. Il est donc nécessaire que la présentation du message n'interfère pas avec la tâche de conduite, qu'elle ne "panique" pas le conducteur. Ceci sera l'objet d'un travail ultérieur.

La deuxième hypothèse se référait à la théorie de **Matthews** et **Sparkes** (1993) sur la notion d'habileté ou d'habitude, selon laquelle nous devrions répondre plus facilement à un signal visuel en conduite automobile, car ce mode de présentation, nous est beaucoup plus familier.

En effet, en conduite automobile, le conducteur a l'habitude de traiter des informations à dominante visuelle, tant par l'environnement routier (route, panneaux), que par les informations disponibles dans l'habitacle (pictogrammes, compteurs). Nous pensions donc, que les temps de réponse seraient plus rapides avec un message visuel. Le problème est que nous sommes en situation d'urgence, le conducteur doit percevoir immédiatement ce signal.

Or, dans notre société, les signaux d'alarmes sont le plus couramment sous forme sonore : sirènes d'alarmes, klaxon, haut-parleurs... Tous ces instruments permettent de diffuser des signaux d'alarmes. On peut donc penser que nous avons l'habitude d'être averti d'un danger par un son. En conséquence, ceci expliquerait que le fait que les temps de réponse obtenus sont plus rapide à un signal auditif que visuel.

Les temps de réponse en attention partagée sont plus rapides en associant deux modalités différentes que deux identiques. Nous confirmons donc la théorie de Wickens.

V.2.2 Traitement de l'information en simple, double et triple tâche

En attention partagée, tout le problème est de connaître le niveau de contrôle des tâches, leur gestion et interaction. Il est nécessaire de savoir quel est la nature des processus impliqués, sachant que dans le cadre de notre expérimentation, le degré d'expérience de conduite et la moyenne d'âge étaient similaires entre tous nos sujets.

Nous n'avons pas constaté de différences significatives entre les temps de réponse recueillis en double et triple tâche. On peut donc penser que le conducteur est passé d'un niveau basé sur les règles à un niveau basé sur l'habileté entre double et triple tâche, conformément au modèle de **Rasmussen** (1983). L'information présentée n'est donc plus considérée comme un signe mais comme un signal. La tâche de surveillance des messages serait passée à un niveau automatique.

Le niveau de contrôle cognitif des tâches serait donc différents ou se modifieraient en fonction du nombre de tâches à exécuter. Le conducteur adapterait une stratégie différente dans la sélection et le traitement de l'information.

D'un point de vue structural, la tâche de maintien de trajectoire nécessiterait un traitement contrôlé dirigé par les concepts, c'est-à-dire un traitement de haut-niveau, consommant des ressources attentionnelles. Ainsi, il est clair que les temps de réponse en double et triple tâche sont beaucoup plus long qu'en simple tâche, la tâche de conduite fait bien appel à des processus contrôlés qui consomment des ressources attentionnelles.

Par contre la tâche de surveillance des messages passerait d'un niveau contrôlé à un niveau de traitement automatique dirigées par les données lors de l'ajout d'une troisième tâche.

D'un point de vue en terme de fonctionnement, faisant référence à **Shiffrin et Schneider** (1977, in Camus, 1988)., on peut penser que la tâche ajoutée fait appel à des processus automatique ne consommant pas de ressources attentionnelles.

Ceci expliquerait qu'il n'y ait pas de variations des temps de réponse en double et triple tâche, le niveau de contrôle cognitif des tâches passerait à un autre niveau.

On peut aussi remettre en question le choix de nos tâches, au niveau de leur complexité.

La tâche de conversation n'était peut-être point assez contraignante pour avoir un effet sur les temps de réponse. Au contraire, beaucoup de sujets ont préféré lorsque l'expérimentateur leur parlait, car cela les maintenait en éveil et évitait un assoupissement dû à la monotonie du circuit. Afin de vérifier s'il existe une éventuelle interférence en triple tâche, il aurait peut être été plus judicieux de choisir une tâche de calcul mental par exemple, qui place le sujet en situation de résolution de problème et l'oblige à effectuer des traitements, des opérations. Le niveau de complexité de la troisième tâche ajoutée semble, de par le fait être trop faible, pour interférer fortement. Les thèmes de discussion choisis concernaient les loisirs personnels des sujets. Thème, qu'ils connaissent parfaitement.

Une dernière possibilité, concernerait l'éveil de la vigilance. En effet, la tâche de maintien de trajectoire est relativement monotone, on peut donc supposer, que la tâche de conversation maintenait l'attention des conducteurs en éveil et leur permettait de répondre plus rapidement au signal, sinon aussi vite que lorsqu'il n'y avait pas la troisième tâche ajoutée.

En conséquence, il apparaît qu'en situation d'urgence le conducteur court-circuite certaines étapes ou modifie sa stratégie de prise et traitement des informations. Les processus mis en jeu passent à un autre niveau de contrôle. Ceci explique le fait qu'il ne soit pas apparu de différences significatives dans les temps de réponse en attention partagée entre deux et trois tâches.

V.3 Evaluation subjective

Un questionnaire d'évaluation subjective accompagnait cette expérimentation, afin de connaître les préférences des conducteurs en fonction du mode de présentation de l'information. quatre critères principaux étaient énoncés, à savoir quel mode était jugé le plus agréable, le préféré en situation réelle, le plus perturbateur, le plus significatif pour indiquer une situation d'urgence. Deux questions d'ordre plus générale, concernaient le système anticollision du point de vue de son utilité et de son interférence avec la tâche de conduite sentiment de perte de contrôle du véhicule.

Au regard des résultats descriptifs obtenus à partir des questionnaires d'évaluation subjective, il a été mis en évidence que majoritairement les sujets préféreraient voir installé dans le véhicule, le signal auditif (24 sujets sur 29). La raison principale invoquée est le fait qu'il permet un éveil de l'attention. En effet, le signal visuel oblige à une certaine vigilance de l'écran contrairement au signal sonore, où l'on a pas contraint de surveiller le tableau de bord.

Ce signal est estimé tout de même un peu trop agressif, les sujets trouvent ainsi majoritairement le signal visuel plus agréable (17 sujets sur 29).

Le signal auditif présente beaucoup de qualités du fait qu'on ne peut pas l'éviter. Il s'entend automatiquement dès son apparition, ce qui n'est pas le cas du message visuel, où il faut rechercher l'information. Il apparaît donc plus efficace pour indiquer une situation d'urgence, où il est nécessaire de réagir le plus rapidement possible, si l'on veut éviter la collision. Il est certain que si ce message n'avait pas pour but d'indiquer une situation d'urgence, le signal visuel serait sûrement préféré, puisqu'il est jugé plus agréable.

Ceci confirme les résultats obtenus par **Labiale** et coll. (1988) où ils comparent la compréhension et mémorisation de messages d'informations routières présentés sous forme visuel et sonore. Le mode de présentation auditif apparaît comme le moins perturbant et interférant avec la tâche de conduite.

Sperandio et **Dessaigne** (1988), lors d'une expérimentation comparative de messages visuels et sonores (tâche simple), définis en fonction de deux longueurs (courts et longs) constatent que les messages auditifs sont mieux retenus pour les messages courts (70 % d'informations retenues contre 59.5 % pour le visuel) et longs (60 % contre 47.5 % pour le visuel). L'information auditive apparaît comme mieux mémorisée.

Ainsi, en terme de vigilance et d'attention le signal auditif semble être mieux adapté.

De plus, en ce qui concerne le message visuel, l'emplacement est un critère primordial, ainsi que les caractéristiques physiques du signal : taille, forme, clignotant ou non.

L'emplacement que nous avons choisi n'est pas apparu pertinent du fait que le signal pouvait être masqué par le volant lors de prises de courbes. Il est évident que nous avons fait en sorte qu'aucun message ne soit présenté en courbe. Mais, les sujets ne le savaient pas et n'appréciaient pas l'idée de ne plus voir distinctement l'écran.

En général, l'implantation de systèmes anticollisions dans les véhicules apparaît utile de manière très dominante (26 sujets sur 29), mais principalement avec le message auditif (22 sujets). deux sujets soulèvent l'idée d'un système croisant les deux modes de présentation.

Quelque soit le mode de présentation de l'information, il n'a pas été ressenti de perte de contrôle du véhicule lors de l'exécution simultanée des tâches : trois sujets ont eu l'impression de perdre le contrôle dont deux avec le message auditif et un avec le message visuel. Il aurait été intéressant de vérifier si ceci était exacte, mais nous n'avons pas enregistré les données concernant les déviations de trajectoire. De plus, la perte de contrôle ressenti par ces trois sujets peut être due à un effet de la conduite sur simulateur de conduite, peut être un temps d'apprentissage plus long aurait il été nécessaire.

VI. CONCLUSION

Notre problématique était d'évaluer le comportement du conducteur en attention partagé, sous forte contrainte temporelle.

La question primordiale était d'en voir les effets sur le traitement de l'information, en fonction du nombre de tâches à exécuter, afin de déterminer les temps de réponse des conducteurs, en situation d'urgence. Pour ceci, nous avons regardé les temps de réponse des conducteurs au freinage, pour une, deux et trois tâches indépendantes.

De plus, nous avons comparé deux modalités de présentation de l'information afin de mettre en évidence, à laquelle le conducteur réagissait le plus vite en situation d'urgence, pendant la tâche de conduite.

Un questionnaire d'évaluation subjective venait compléter cette expérimentation, l'opinion des conducteurs étant un critère dominant puisque si le système les agace, perturbe ou ne leur convient pas, ils ne l'utiliseront point.

Cadre méthodologique

Mais, avant toute chose, des choix méthodologiques se sont révélés fort importants pour une bonne fiabilité de nos résultats.

Aussi, nous sommes nous d'abord axés sur une recherche de méthodologie précise d'enregistrement et de recueil des temps de réponse des conducteurs sur l'appui pédale.

Cette mise au point était nécessaire, car nous avons pu voir qu'il est difficile de comparer nos résultats à ceux obtenus dans des recherches précédentes, si nous ne connaissons point, par exemple, l'emplacement des capteurs, les points de référence, la fréquence d'échantillonnage... Nous avons essayé d'amener des précisions dans ce domaine.

La mise en place de cette expérimentation a nécessité l'utilisation d'outils sinon nouveaux, du moins en cours de développement. L'expérimentation ayant été réalisée sur le simulateur de conduite SECRET de l'INRETS-LESCO, ceci impose un cadre technique complexe et tout un travail d'équipe. Ces facteurs humains et techniques ont demandé une organisation et une gestion du temps assez rigoureuse.

Une partie des données n'a pas encore été exploitées, mais le sera ultérieurement. Ainsi, les échelles de jugement permettant d'évaluer la charge mentale du sujet, en font partie, et seront dépouillées prochainement. Elles permettront de mettre en évidence, si la troisième tâche ajoutée interfère ou non.

De plus, nous n'avons pas pu faire passer le protocole à un échantillon âgé, alors même que l'on sait que ce sont eux qui ont les plus grandes difficultés à partager leur attention. Il est donc nécessaire de connaître la courbe de leur temps de réponse au freinage. Cette phase expérimentale est prévue plus tard.

Modalité de présentation de l'information

En conclusion, nous pouvons relever que les différences de temps de réponse obtenus entre la modalité auditive et visuelle, sont conformes aux données de la littérature (Lings, 1991). Les temps de réponse sont plus rapide avec la modalité auditive, que ce soit en simple tâche ou en attention partagée, qu'avec la modalité visuelle.

Temps de réponse primaire et secondaire

Le découpage du temps de réponse global en temps primaire (perception du message, identification et action motrice : lâcher d'accélérateur) et secondaire (passage de l'accélérateur à l'appui frein) a permis de mettre en évidence que le temps de réponse secondaire n'est pas sensible à notre objet d'étude. Le temps de réponse primaire est plus long, puisqu'il comprend le temps de traitement de l'information présentée alors que le temps secondaire correspond au temps physiologique nécessaire pour réaliser l'action motrice.

Effet du partage de l'attention

Enfin, il est important de noter que les temps de réponse en attention partagée sont significativement différents de ceux obtenus en tâche simple.

Par contre, on n'a pu mettre en évidence de différence significative de temps de réponse entre deux et trois tâches. Ceci laisse supposer soit qu'une des tâches a été automatisée soit une modification des stratégies des sujets. **Sperandio** (1988) souligne que l'opérateur change sa stratégie opératoire, en fonction des critères prédominants dans la ou les tâches qu'il à exécuter. Il régule l'augmentation de la quantité d'informations lui parvenant, en modifiant sa stratégie de prise et traitement de l'information. Ceci avait été constaté sur les contrôleurs de navigation aérienne qui modifient leur stratégies avec l'augmentation de l'information (augmentation du nombre d'avions à surveiller), certains critères apparaissent plus important.

Dans notre expérimentation, l'évitement de la collision est primordiale, on peut penser que la tâche de conversation était placé à un autre niveau.

Un grand nombre d'hypothèses a été soulevé sur le niveau de contrôle cognitif en attention partagée. Ceci nous ouvre des perspectives de travail à long terme, l'objectif étant de connaître les capacités fonctionnelles des conducteurs en situation d'urgence, en attention partagée.

De plus, il est nécessaire de travailler sur un échantillon représentant l'ensemble de la population des conducteurs, il faut donc prendre en compte les conducteurs âgés avec leurs spécificités.

BIBLIOGRAPHIE

AMALBERTI R (1991) : Savoir-faire de l'opérateur : aspects ergonomiques et pratiques en ergonomie, in Modèles en analyse du travail, Mardaga, pp 279-294.

BATESON G (1984) : Communication, in La nouvelle communication, Collection Essais Points, Tours, pp 116-144.

CAMUS J.F (1988) : La distinction entre les processus contrôlés et les processus automatiques chez Schneider et Shiffrin, in Les automatismes cognitifs, Editions Mardaga, Liège, pp 55-77.

CHALARD S, PLE CZON P (1992) : PROGEN : Protocole des tests pour l'évaluation des systèmes de type ICC sur simulateur SCAN, Dialexis, G.I.E PAS-Renault, réf : RI 192/SC-PP/ProGen, 23 p.

CHALARD S, PLE CZON P (1993) : PROMETHEUS PROGEN : Analyse des données issues des tests ICC et AICC sur simulateur SCANNER, Dialexis, GIE PSA-Renault, réf : R02/SC-PP/ProGen, 63 p.

CHALARD S, PLE CZON P (1993) : PROMETHEUS PROGEN : Bilan des tests ICC et AICC, Dialexis, GIE PSA-Renault, réf : 80393/SC-PP/ProGen, 18 p.

CHOCHOLLE R. (1963) : Les temps de réaction, in Traité de psychologie expérimentale, Tome II : sensation et motricité, PUF, 1963, pp 63-112.

DURAND C., GAURIAT P., LETISSERAND D., CHANUT O (1994) : Les moyens de l'INRETS en simulation de conduite, Journée spécialisée INRETS : Simulation de conduite, à paraître, 6 p.

EYROLLE H, PAQUIOT J (1989) : Activité de gestion des tâches en situation de temps partagé : Approche expérimentale des interférences dans l'activité de traitement, Thèse de doctorat Nouveau Régime, 223p.

FASTENMEIER W, GSTALTER H (1992) : Review on studies and research work about driving task analysis, Commission of the European Communities, DG XIII/F-5, Munich, 122 p.

FLEURY D, FERRANDEZ F, LEPESANT C (1988) : Analyse typologique des manœuvres d'urgence en intersection, Rapport INRETS n° 62. 88 p.

FLORES. J.L (1990) : Ergonomie et mode d'usage des systèmes d'aide à la conduite, Recherche Transports Sécurité, n° 26, pp 23-28.

FONTAINE. H, GOURLET. Y, MALATERRE. G (1993) : Les besoins des conducteurs âgés en information et assistance, in Vieillesse et transport, Actes INRETS n° 35, pp 133-139.

GOURLET Y, FONTAINE H (1992) : Les accidents de la route des personnes âgées, Comotred 92 Mobilité et transport des personnes âgées ou à mobilité réduite, pp 823-827.

LABIALE. G, MAMBERTI. M.L, BAEZ. D, CONUS. Y, AUPETIT. J (1988) : Compréhension et mémorisation des messages visuels et auditifs d'information routière, Rapport INRETS n° 66, 40 p.

LAVILLE A (1989) : Vieillesse et travail, Le travail humain, tome 52, n° 1, pp 3-20

LEPLAT J (1985) : Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail, Armand Colin, 197 p.

LINGS S (1991) : Assessing driving capability : A method for individual testing, Applied Ergonomics, 22.2, pp 75-84.

MALATERRE G (1986a) : Temps de réponse et manœuvres d'urgence, Revue Recherche Transports Sécurité, pp 11-16.

MALATERRE G, SAAD F (1986b) : Les aides à la conduite : définitions et évaluation, exemple du radar anticollision, Le travail humain, tome 49, n° 4, pp 333-346.

MALATERRE G (1987a) : Les activités sous contrainte de temps : le cas des manœuvres d'urgence en conduite automobile, Diplôme de doctorat, 214 p.

MALATERRE. G, PEYTAVIN J.F, JAUMIER. F, KLEINMANN. A (1987b) : L'estimation des manœuvres d'urgence au volant d'une automobile, Rapport INRETS n° 46, 38 p.

MALATERRE G, PEYTAVIN J.F (1987c) : Représentation des manœuvres applicables à quatre situations d'urgence simulées en laboratoire, Rapport INRETS n° 24, 49 p.

MALATERRE G, LECHNER D (1989) : Expérimentation de manœuvres d'urgence sur simulateur de conduite, première partie comportement des conducteurs, Rapport INRETS n° 104, 60 p.

MALATERRE. G, FONTAINE. H (1992) : Les aides à la conduite : quels enjeux pour la sécurité ? Revue RTS n° 35, pp 43-54.

MARIN-LAMELLET. C, CHANUT. O, PAUZIE. A (1993) : Expression du vieillissement en situation d'attention partagée, application à l'ergonomie des systèmes d'aide à la conduite automobile, in Vieillesse et transport, Actes INRETS n° 35, pp 127-131.

MARIN-LAMELLET C (1993) : Eléments de réflexion sur l'interface conducteur âgé-système d'aide à la navigation : expression du vieillissement sur la prise et le traitement d'informations visuelles en situation d'attention partagée, Diplôme de doctorat, 209 p

MARQUIE J.C (1989a) : Effets de l'âge sur quelques aspects cognitifs du traitement de l'information visuelle, in Actes INRETS n° 21, L'analyse des activités du conducteur, pp 34-50.

MARQUIE J.C (1989b) : La réception et le traitement de l'information visuelle, éléments pour la prise en compte des caractéristiques des travailleurs vieillissants, Le travail humain, tome 52, n° 1, pp 57-74.

MARQUIE J.C (1993) : Vieillissement, conduite automobile, et techniques nouvelles, in Vieillissement et transport, Actes INRETS n° 35, pp 79-89.

MARQUIE J.C, THON B, MARTIN A, BARACAT B, PAUZIE A, BRUYAS M.P (1993) : Format verbal ou image des informations et efficacité du traitement dans la conduite automobile en fonction de l'âge, perspectives théoriques et ergonomie des systèmes embarqués, in Vieillissement et transport, Actes INRETS n° 35, pp 109-114.

MATTHEWS. G, SPARKES. T.J (1993) : The role of general attentional resources in simulated driving performance, Communication au congrès : Vision in Vehicle, Glasgow, 8 p.

MIDTLAND. K (1993) : Information presentation, a cognitive theoretical framework and possible problems, Workpackage in HARDIE, 10 p.

NEBOIT. M (1979) : Simulation et apprentissage de la conduite automobile, Le travail humain, vol 41, n° 2, pp 239-249.

NEBOIT. M (1982) : L'exploration visuelle du conducteur : Rôle de l'apprentissage et de l'expérience, Cahiers d'études ONSER n° 56, 70 p.

OLSON P.L, SIVAK M (1986) : Perception-Response time to unexpected roadway hazards, Human Factors, 28(1), 1986, pp 91-96.

PAUZIE. A (1989) : Vieillissement et capacités fonctionnelles, Revue bibliographique des connaissances théoriques. INRETS (LESCO), Bron, 33 p.

PAUZIE. A (1990) : L'automobile du futur et les conducteurs âgés, 2° ateliers : Association Rééducation Neuro-Psychologique : L'approche neuro-psychologique du déficit moteur, 8 p.

PAUZIE A, LETISSERAND D, TRAUCHESSEC R (1992a) : Displayed information legibility of in-vehicle systems : focus on elderly drivers visual specificities, in The Root of Car Navigation. ISATA.

PAUZIE A, ALAUZET A, VERNET M (1992b) : Prise en compte des capacités fonctionnelles des usagers âgés dans les situations de transports, in COMOTRED 92 : Mobilité et Transport des personnes âgées ou à mobilité réduite, pp 521-528.

PAUZIE. A (1993) : Vieillissement, conduite automobile et techniques nouvelles, in Vieillissement et transport, Actes INRETS n° 35, Mai 1993, pp 117-119.

RASMUSSEN. J (1983) : Skills, rules and knowledge ; signals, signs and symbols and other distinction in human performance models, IEEE transactions on systems, Man and Cybernetics, vol SMC-13, n° 3, pp 257-266.

RICHARD J.F (1980) : L'attention, Paris, PUF, 234 p.

SAAD. F (1987) : Analyse et modèle de la tâche de conduite in L'analyse des comportements et le système de circulation routière. Compte rendu de la journée spécialisée du 9 Décembre 1986, Actes INRETS n° 9, pp 3-13.

SAAD. F, MAZET. C (1991) : Analysis of road situations and drivers'activity in a perspective of cognitive ergonomics, in Designing for everyone. Proceedings of the 11th congress of the International Ergonomics Association, Tome 2, pp 1425-1427.

SCHERRER J et coll. (1981) : Travail et vieillissement in Précis de physiologie du travail, notions d'ergonomie, Editions Masson, pp 541-546.

SIMMS B (1992) : Caractéristiques et pratiques routières des conducteurs de plus de soixante-dix ans, in Comotred 92. Mobilité et transport des personnes âgées ou à mobilité réduite, pp 816-822.

SPERANDIO. J.C (1988) : L'ergonomie du travail mental, Paris, Masson, 140 p.

SPERANDIO J.C, DESSAIGNE M.F (1988) : Une comparaison expérimentale entre modes de présentations visuels ou auditifs de messages d'informations routières à des conducteurs automobiles, Le travail humain, 1988, Tome 51, n° 3, pp 257-268.

STAMMI (1992) : Final report V 1037, Deliverable n° 6.

TARDIEU. H (1993) : La psychologie cognitive, Cours de DESS d'ergonomie, Paris V.

TETARD. C (1987) : L'analyse des activités décisionnelles par l'observation des comportements en site réel in L'analyse des comportements et le système de circulation routière. Compte rendu de la journée spécialisée du 9 Décembre 1986, Actes INRETS n° 9, pp 24-38.

TIBERGHIE G, ANS B, MENDELSON P, GEORGE C (1990) : Contraintes structurales et fonctionnelles des systèmes de traitement, in Traité de psychologie cognitive, Tome 2, Editions Dunod, Paris, pp 1-32.

THON. B, MARQUIE. J.C, MAURY. P (1993) : Le texte, l'image et leurs traitements cognitifs, Communication Orale au colloque CNRS "Image et Langage", Paris.

VALAT M (1992) : Etude des temps de réponses des conducteurs à des stimuli auditifs et visuels (Prise en compte des caractéristiques individuelles), Rapport de maîtrise, Université Lumière Lyon 2, tome 1, 71 p.

VALAT M (1993) : Ergonomie des systèmes d'aide à la conduite : Compréhension des messages par les conducteurs en fonction du mode de présentation et du codage de l'information, Rapport DESS, Paris V, 60 p.

VERNET M (1993) : Vieillesse des conducteurs et utilisation des informations auditives dans la voiture, in Vieillesse et transport, Actes INRETS n° 35, Mai 1993, pp 91-97.

VERWEY W.B, JANSSEN W.H (1988) : Route following and driving performance with in-car route guidance systems, Report n° 1ZF1988C-14, Soesterberg, The Netherlands : TNO Institute for Perception.

WALLER P.F (1991) : The older driver, Human Factors, 33(5), pp 499-505.

WELFORD A.T (1964) : Vieillesse et aptitudes humaines, PUF, 357 p.

WINKIN. Y (1984) : Le télégraphe et l'orchestre, in La nouvelle communication, Editions du Seuil, pp 13-26.

TABLE DES GRAPHIQUES

- Graphique n° 1 : Les activités mises en jeu dans la conduite (Neboit, 1979)
- Graphique n° 2 : Description de la tâche de conduite (King et Lunenfeld, 1971)
- Graphique n° 3 : Modèle du comportement du conducteur de Wilde (1982)
- Graphique n° 4 : Modèle d'évitement du risque de Van Der Molen et Bötticher (1986)
- Graphique n° 5 : Modèle de Gagne
- Graphique n° 6 : Modèle d'une séquence de décision pour l'analyse de l'erreur (Leplat, Modèle adapté de Rasmussen, 1985)
- Graphique n° 7 : Descriptif du dispositif expérimental sur le simulateur de conduite
SECRET
- Graphique n° 8 : Enregistrement des temps de réponse (dispositif expérimental)
- Graphique n° 9 : Définition des temps de réponse
- Graphique n° 10 : Temps de réponse en tâche simple en fonction de l'ordre
- Graphique n° 11 : Temps de réponse primaire sur la pédale d'accélérateur
- Graphique n° 12 : Temps de réponse secondaire sur la pédale de frein
- Graphique n° 13 : Temps de réponse moyens aux messages visuels suivant le nombre de tâches
- Graphique n° 14 : Temps de réponse moyens aux messages auditifs suivant le nombre de tâches
- Graphique n° 15 : Temps de réponse moyens en simple et triple tâche
- Graphique n° 16 : Temps de réponse moyens en simple et double tâche
- Graphique n° 17 : Temps de réponse global
- Graphique n° 18 : Comparaison des temps de réponse globaux en tâche simple de Lings (1991) et Zakosek (1994)

TABLE DES TABLEAUX

- Tableau n° I : Nombre de kilomètres parcourus par an par les conducteurs français (STAMMI, 1992)
- Tableau n° II : Temps de réponse en situation d'urgence (Malaterre et Lechner, 1989)
- Tableau n° III : Temps de réponse simple au freinage (Lings, 1991)
- Tableau n° IV : Contrôle de l'effet d'ordre
- Tableau n° V : Effet du mode de présentation sur les temps de réponse, en fonction du nombre de tâches
- Tableau n° VI : Plan d'expérience en attention partagé
- Tableau n° VII : Plan d'expérience en tâche simple
- Tableau n° VIII : Temps de réponse moyen en tâche simple, en fonction de l'ordre
- Tableau n° IX : Temps de réponse moyens suivant le mode de présentation et le nombre de tâches (tableau récapitulatif)
- Tableau n° X : Temps de réponse en fonction du mode de présentation (Lings, 1991)

INDEX AUTEURS**A**

Amalberti, 22
Aupetit, 32

B

Baez, 32
Barret, 35
Bateson, 16
Bathurst, 35
Bencorno, 31
Bötticher, 12, 13
Broadbent, 38

C

Camus, 21
Carp, 26
Chalard, 34
Cheng, 26
Chocholle, 64
Conus, 32

D

Daniel, 31
Dessaigne, 33, 73
Dumais, 20
Duncan, 24
Durand, 40, 41

E

Eyrolle, 17, 42, 71

F

Fastenmeier, 9, 11, 12
Fleury, 34
Flores, 9
Fontaine, 29, 30
Fuller, 12

G

Gagne, 9, 15
Garrett, 16
Glaser, 31
Gourlet, 29
Gstalter, 9

H

Hatterick, 35

J

Janssen, 32

K

Kahneman, 17

King, 9

Kintsh, 33

L

Labiale G, 32, 73

Lackner, 16

Laurell, 37

Laville G, 24, 25, 27

Lechner, 36, 58, 69, 70

Leplat J, 21, 22

Lings, 38, 69

Lisper, 37

Lisper, 37

Lunenfeld, 9

M

Malaterre G, 5, 6, 29, 30, 33, 35, 36, 37, 58, 59, 69, 70

Mamberti, 32

Marin-Lamellet C, 28, 43

Marquié J.C, 25, 27, 29, 31

Matthews G, 24, 43, 71

Maury, 31

Michon, 10

Midtland K, 9

Monsell, 31

N

Näätänen, 12

Neboit M, 8

O

Ochanine, 18

Olson P.L, 37, 39, 70

P

Pacquiot J, 17, 42, 71

Pauzié A, 25, 26, 27

Peytavin, 35, 36

R

Rasmussen J, 9, 10, 21, 22, 72

Richard J.F, 18, 19

S

Saad F, 8, 33
Scherrer J, 25
Schneider, 19, 20, 72
Shannon, 16
Shiffrin, 19, 20, 72
Simms, 28
Sivak, 37, 39, 70
Sparkes, 24, 43, 71
Sperandio, 15, 18, 33, 73, 76
Summala, 12

T

Tardieu, 16, 20
Taylor, 11
Tétard, 8
Thon, 31
Tiberghien, 20

V

Valat, 32, 40, 49
Van der Molen, 12, 13
Vernet, 26
Verwey, 32

W

Waller, 24, 29
Weaver, 16
Welford, 27
Weston, 25
Wheeldon, 31
Wickens, 17, 42, 71, 72
Wilde, 11, 12
Winkin, 16

Y

Yee, 26

Monique VERNET
Frédérique FRAIGNEAU
Murielle VALLAT-ZAKOSEK

Daniel LETISSERAND
Philippe DELEURENCE
Françoise CHAUTEMPS

***SYSTEMES ANTICOLLISIONS :
CAPACITES DES CONDUCTEURS A
UTILISER DES SIGNAUX D'ALERTE***

Rapport final

Partie 2 : Influence de l'âge sur les temps de réponses

Contrat DRAST n° 930027

Rapport LESCOT n° 0102
Mars 2001

Table des matières

RESUME	4
I. Partie théorique.....	9
I.1 Notions de physiologie du mouvement.....	9
<i>I.1.1 L'activité gestuelle.....</i>	<i>9</i>
<i>I.1.1.1 Le but du geste</i>	<i>9</i>
<i>I.1.1.2 Classification des mouvements</i>	<i>9</i>
<i>I.1.1.3 Le geste dirigé.....</i>	<i>10</i>
<i>I.1.1.4 Les types d'activités gestuelles.....</i>	<i>14</i>
I.2 Incidences du vieillissement : aspects physiologiques et cognitifs.....	16
<i>I.2.1 Vieillessement et traitement des informations visuelles</i>	<i>16</i>
<i>I.2.2 Vieillessement et sensori-motricité.....</i>	<i>18</i>
<i>I.2.3 Vieillessement et temps de réaction à des messages auditifs.....</i>	<i>19</i>
<i>I.2.4 Typologies des trajets, caractéristiques médicales, psychologiques et comportementales des conducteurs âgés.....</i>	<i>23</i>
<i>I.2.5 Mémoire humaine et vieillissement.....</i>	<i>23</i>
I.3 L'organisation des traitements	25
II. Objectif à court et long terme.....	27
III. Méthodologie Proposée.....	28
III.1 Description des tâches.....	29
III.2 Description du matériel	29
<i>III.2.1 Description du simulateur de conduite.....</i>	<i>29</i>
<i>III.2.2 Véhicule d'essai.....</i>	<i>30</i>
<i>III.2.3 Description du scénario sur simulateur de conduite INRETS - LESCO.....</i>	<i>30</i>
III.3 Détermination du signal acoustique et élaboration des messages d'aide à la conduite	31
<i>III.3.1 Choix du signal auditif : définition acoustique de l'alerte auditive</i>	<i>31</i>
<i>III.3.2 Présentation du signal sonore émis.....</i>	<i>31</i>
<i>III.3.3 Précaution méthodologique : test audiométrique</i>	<i>32</i>

III.3.4	<i>Intelligibilité de messages verbaux</i>	33
III.3.5	<i>Définition du signal acoustique utilisé</i>	33
III.3.6	<i>Matériel INRETS - LESCO utilisé lors du test audiométrique</i>	33
III.4	Plan d'expérimentation	34
III.4.1	<i>Déroulement de l'expérimentation</i>	35
III.4.2	<i>Description de l'échantillon de référence</i>	36
III.5	Enregistrement des données INRETS - LESCO	39
III.5.1	<i>Définition de la méthode de calcul des temps primaires, secondaires et totaux</i>	40
III.5.2	<i>Critique de la valeur d'enfoncement de la pédale accélérateur</i>	41
III.5.3	<i>Définition de la référence prise en compte pour le début du signal acoustique</i>	41
III.6	Description des fichiers de la base de données	41
III.7	Méthode de traitement statistiques	43
IV.	Résultats bruts et discussion	44
IV.1	Analyse descriptive des résultats	44
IV.1.1	<i>Analyse descriptive des temps de réponses en attention focalisée ter et second essai (TS1 et TS2)</i>	44
IV.1.1.1	<i>Description de l'action des conducteurs sur la tâche simple (TS)</i>	44
IV.1.1.2	<i>Description de l'action des sujets non pris en compte sur la tâche simple sur le 1^{er} essai (TS1) et le second essai (TS2)</i>	45
IV.1.1.3	<i>Description des sujets n'ayant pas appuyer suffisamment sur la pédale d'accélérateur en tâche simple : 1^{er} essai (TS1) et second essai (TS2)</i>	47
IV.1.1.4	<i>Analyse descriptive des temps de réaction en tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) et second essai (TS2) : temps primaire (TR1), secondaire (TR2) et total (TT) en fonction de la classe d'âge</i>	47
IV.1.2	<i>Analyse descriptive de l'effet de la tâche, de l'essai et de la classe d'âge en attention partagée (tâche double)</i>	54
IV.1.2.1	<i>Description de l'action des sujets n'ayant pu être pris en compte pour le calcul des temps de réaction sur la tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1) et second essai (TD2)</i>	54
IV.1.3	<i>Analyse descriptive des effets de la classe d'âge, de la tâche et de l'essai sur les temps de réactions en attention partagée (tâche triple)</i>	63
IV.1.3.1	<i>Description des sujets non pris en compte lors de la tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)</i>	63
IV.1.3.2	<i>Résultats sur la tâche triple (TT) en attention partagée 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)</i>	64
IV.1.4	<i>Comparaison des temps de réaction obtenus en attention focalisée (tâche simple : TS) et en attention partagée (tâche double : TD et tâche triple TT)</i>	70

IV.2	Traitements statistiques.....	74
<i>IV.2.1</i>	<i>Variabilité intra individuelle.....</i>	<i>74</i>
<i>IV.2.2</i>	<i>Analyse de la première commande active : temps primaire de réaction (TR1) en attention focalisée et partagée sur les deux essais</i>	<i>76</i>
<i>IV.2.3</i>	<i>Analyse du temps secondaire de réaction (TR2) en attention focalisée et partagée sur les deux essais</i>	<i>82</i>
IV.3	Description des différentes typologies de conducteurs à partir du questionnaire	87
V.	Conclusion.....	88
V.1	Critique de la méthode	94
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	96
	ABREVIATIONS	99

RESUME

L'objectif de cette recherche vise à la création d'une base de données des temps de réponses des conducteurs français à des informations d'urgence sur un échantillon de 120 conducteurs dont la classe d'âge varie de 20 à 80 ans.

Pour cela, nous avons utilisé une méthodologie mise au point par l'**INRETS**. Celle-ci nous a permis de mesurer des temps de réponses sur des tâches simples (attention focalisée) et sur des tâches dites double et triple (attention partagée) sur le simulateur de conduite du **LESCO**. Au cours de ces trois tâches, les conducteurs devaient répondre à des messages d'alerte. Il s'agit d'une alerte auditive.

En **tâche simple**, on enregistre des temps de réponses (S-R) sur la pédale de frein au signal d'urgence (attention focalisée).

En **double tâche**, on enregistre des temps de réponses sur la pédale de frein au signal d'urgence en situation de conduite facile sur simulateur (tâche de maintien de trajectoire en attention partagée).

En triple tâche, on enregistre des temps de réponse sur la pédale de frein au signal d'urgence en situation de conduite facile sur simulateur (tâche de maintien de trajectoire) pendant une tâche de conversation (attention partagée).

Ces mesures nous ont permis de distinguer trois temps de réponses.

- * Le **temps de réponse primaire** est défini comme le temps entre le début d'apparition du signal et le premier lever de pied de l'accélérateur.
- * Le **temps de réponse secondaire** est défini comme le temps entre le premier lever de pied de l'accélérateur et le début d'action sur le frein (1^{er} point d'application).
- * Le **temps de réponse total** est défini comme la somme de ces deux temps précédents.

Position du problème : étude bibliographique

Notre premier objectif vise à la création d'une base de données des temps de réactions des conducteurs en situation d'alerte.

L'origine de ses travaux de recherche sur les temps de réaction est liée à une expérimentation de **Lings** (in "Assessing driving capability : a method for individual testing", 1991). Cet auteur a réalisé une expérimentation sur maquette, le sujet était placé dans un habitacle de voiture : le siège pouvait être réglé d'avant en arrière, le volant fonctionnait et le véhicule était équipé de 3 pédales (frein, accélérateur et embrayage). Les résultats enregistrés étaient entre autre, les temps de réponse simple (attention focalisée) sur les pédales à des stimuli visuels et auditifs. Les stimuli visuels étaient envoyés sur un écran placé face au conducteur (flèches rouges ou vertes). Les stimuli auditifs étaient transmis au moyen d'un buzzer. Cet auteur définit un premier temps de réaction qui correspond à l'intervalle entre le déclenchement du signal et le lever du pied de l'accélérateur vers la pédale de frein. 109 sujets de 17 à 85 ans ont été testés avec une moyenne d'âge de 49 ans. Il enregistre un premier temps de réaction de 276 ms au signal visuel et de 270 ms au signal sonore ; un temps de réaction secondaire de 225 ms au signal visuel et de 218 ms pour le signal sonore. Soit un temps de réponse simple au freinage total de 501 ms en ce qui concerne le signal visuel et de 488 ms pour le signal sonore. L'auteur ne précise pas si la différence des temps de freinage est statistiquement différente.

Dans "Towards and intelligent transport system" (1994), **Lerner**, sur un échantillon de 116 sujets (jeunes et âgés), après 0.7 miles de conduite sur autoroute enregistre les temps de réaction sur un obstacle (barrière jaune en métal) sur l'accélérateur et/ou sur le volant. Il trouve que 87 % des sujets anticipent la manœuvre, 43 % effectuent une action sur le frein et le volant et 36 % uniquement sur le volant et enfin 8 % sur le frein uniquement. Le temps moyen de réaction pour tous les sujets est de 1.5 sec avec une déviation standard de 0.4 sec. Par ailleurs, des auteurs comme **Davis et al** trouvent que le temps de réaction croît en fonction de la distance effectuée par le conducteur et que lorsque le freinage est anticipé le temps de réaction est plus court (**Johansson et Rumar**). Cet auteur cite la valeur de 2.5 sec comme temps de réaction "standard" sur la pédale de frein, néanmoins, il ne cite pas les conditions expérimentales dans lesquelles ont été obtenus ces résultats. Toujours selon cet auteur, si on prend en considération des études où les conducteurs ne se trouvent pas dans des situations à haut risque, le temps de réaction le plus long est évalué à 2.5 sec. Néanmoins, il ne précise pas comment ces temps ont été obtenus. Dans son article "Temps de réponse et manœuvres d'urgence", **Malaterre. G** 1986, a effectué une revue bibliographique récapitulative des différents temps de réaction enregistrés dans les études en cours et ce avec différentes modalités de situations expérimentales. Le tableau n° 1 en relate les principales données. Néanmoins, les modalités exactes de prise en compte des mesures des temps de réaction ne sont pas données dans les différents articles cités.

Tableau n° 1
Récapitulatif des différents temps de réaction enregistrés sur plusieurs études et
avec différentes modalités de situations expérimentales

Auteurs	Année	Signal	Consigne	Réponse	Situation	Temps en secondes
Teichner	54	Lampe	Répondre Au Signal Le Plus Vite Possible	Bouton	Labo	0,15 à 0.20
			Idem	Pédale (Sans Déplacement Au Pied)	Labo	0.25 à 0.35
Lister	50	Lampe ?	Idem	Pédale De Frein (Avec Déplacement Du Pied)	Voiture A L'arrêt	0.45
Konz et Daccaret	67	Lampe	Idem	Klaxon (Main Dessus)		0.38
			Idem	Klaxon (Main Sur Le Volant)		0.56
			Idem	Frein (Pied Dessus)		0.39
			Idem	Frein (Pied Sur L'accélérateur)		0.59
Lister ?	50	Lampe ?	Idem	Pédale De Frein	Conduite	0.6 à 0.8
Johansson Rumar	71	Sonore	Idem	Pédale De Frein	Conduite (Anticipation Forte) (Faible)	0.66 0.9
Barret et al	68	Piéton Traversant	Pas De Consigne	Toute Manœuvre D'évitement	Simulateur (Anticipation Faible)	0.8 à 1.1
Sivak et al	82	Allumage Des Feux Stop Du Véhicule Précédent	Idem	Plus Petit Ralentissement Mesurable	Conduite Réelle	1.21
Olson et Sivak	86	Obstacle En Caoutchouc Mousse	Idem	Première Action Sur Le Frein	Conduite Réelle	1.1
BLSA	73-89	Sonore		Action Sur Bouton Poussoir	S-R	250 ms H 20 ans 370 ms H 90 ans perte de 0.5 ms par an
Link	94	Sonore Et Visuel		Temps De Réaction Sur Pédale De Frein Et Accélérateur	Maquette De Véhicule	501 ms signal visuel 488 ms signal sonore
Edward Engelken & AL	91	Sonore Et Visuel		Action Bouton Poussoir	S-R	Cibles fixes visuelles : 241 ms Cibles visuelles mobiles : 233 ms Cible fixe auditive : 182 ms.
ZAKOSEK	95	Sonore Et Visuel		Temps De Réaction Sur Pédale De Frein Et Accélérateur	Simulateur (Anticipation Forte)	553 ms signal visuel 577 ms signal auditif (tâche double)

Zakosek. M s'est inspiré de ses travaux dans le cadre de son DEA "Evaluation des temps de réponse au freinage des conducteurs aux signaux d'alerte en situation d'urgence" (1993-1994) sur un échantillon de 7 conducteurs ayant entre 25 et 35 ans. Sa problématique visait à évaluer le comportement du conducteur en attention partagée, sous forte contrainte de temps. Son axe principal de travail était d'en cerner les effets sur le traitement de l'information, en fonction du nombre de tâches à exécuter, afin de déterminer les temps de réponse des conducteurs, en situation d'urgence. Pour cerner ces effets, cet auteur a enregistré les temps de réponse des conducteurs au freinage, pour une, deux ou trois tâches indépendantes. De plus, **Zakosek. M** a comparé deux modalités de présentation de l'information (visuelle et auditive) afin de mettre en évidence celle pour laquelle le temps de réaction est le plus rapide.

Elle trouve un temps de réaction primaire, au 3^{ème} essai et après une phase d'apprentissage, de 525 ms au signal visuel en double tâche et de 520 ms en triple tâche (réponse au signal + suivi de trajectoire + conversation), un temps de 384 ms en double tâche au signal auditif et de 395 ms en triple tâche au signal auditif. En ce qui concerne le temps de réaction secondaire, pour la modalité auditive, elle enregistre un temps de réaction presque similaire, indépendamment du nombre de tâches, soit 196 ms en tâche double et 193 ms en tâche triple. Par contre, elle constate qu'il n'existe pas de différence significative entre la tâche double (196 ms) et triple (245 ms) pour la modalité visuelle. Nous pourrions en déduire que la tâche ajoutée de conversation (tâche triple) ne crée pas de charge supplémentaire puisque le temps de réaction ne s'avère pas de plus longue durée. Par ailleurs, elle obtient un temps global de réponse moyen de 553 ms (écart type = 135 ms) en tâche simple au signal visuel, de 720 ms (écart type = 286 ms) en double tâche, de 765 ms (214 ms) en triple tâche. Au niveau des temps de réaction globaux moyens au signal auditif, elle obtient une moyenne de 463 ms en tâche simple (écart type = 64 ms), de 577 ms en double tâche (écart type = 105 ms), de 600 ms en ce qui concerne la tâche triple (écart type = 102 ms).

Ainsi, au niveau du mode de présentation de l'information elle trouve une réponse plus rapide avec la modalité auditive, que ce soit en attention partagée ou en tâche simple. En ce qui concerne le temps de réponse, elle enregistre un temps de réponse primaire (perception du message, identification et action motrice : lâcher l'accélérateur) plus long que le temps secondaire (passage de l'accélérateur et appui frein) (temps physiologique nécessaire pour réaliser l'action sensori-motrice). Elle note également que les temps de réponse en attention partagée (tâche de réponse au stimulus auditif et tâche de suivi de trajectoire) sont significativement différents de ceux obtenus en tâche simple (tâche de réponse focalisée). Par contre, elle n'a pas trouvé de différence significative de temps de réponse entre la double tâche et la triple tâche (réponse stimulus, suivi de la trajectoire et conversation). C'est pourquoi, elle suppose soit qu'une des tâches a été automatisée soit que la stratégie du conducteur a changé.

A plus long terme, ces réponses extrêmes de temps de réactions devront servir de référence lors de l'élaboration de système anticollision de façon à ce que le système soit adapté à la plus grande variabilité intra et inter individuelle possible. Le système anticollision sera une assistance à l'activité.

En fait, ce futur système peut être vu comme une extension du cerveau qui prend en charge une partie du traitement de l'information. Certains auteurs parlent alors de prothèses cognitives (**Falzon**, (1992) cours du CNAM B2).

Si on considère la tâche de conduite, le conducteur effectue simultanément deux tâches : la tâche principale consiste à se rendre d'un point A à un point B, et, pour cela, à planifier son trajet, en tenant compte des aléas de la circulation (par exemple route barrée, sens interdit) et en effectuant un certain nombre d'activités sensori-motrices (accélérer, ralentir, changer de vitesse, etc.) ; la seconde tâche consiste à prélever certaines informations afin de s'assurer du bon fonctionnement du véhicule (surveiller les niveaux d'huile et d'essence, la température et le régime moteur...).

A l'activité principale sur l'objet du travail, s'ajoute ainsi une activité qui consiste à s'assurer du bon fonctionnement de l'instrument utilisé. Le développement technologique a tendu à accroître le nombre de tâches qui impliquent ainsi une double activité et surtout à complexifier l'activité seconde. La tâche de conduite est par essence une tâche mixte. Dans cette optique, le futur système anticollision peut être vu comme un outil cognitif utilisé comme source d'information supplémentaire pour le conducteur lors de son activité de régulation de vitesse. En fait, le conducteur se décharge de cette tâche secondaire (détection des obstacles), en situation dite "normale" et la charge perceptive et cognitive du conducteur se trouve par conséquent allégée. C'est pourquoi l'on peut employer le terme de prothèse cognitive du système : le but de celle-ci étant bien de s'assurer de la réduction de la charge perceptive et mnésique du conducteur. Le conducteur n'intervient qu'en "situation dite critique" lorsque le système lui indique un obstacle à l'aide d'un message, le conducteur freine. Le système anticollision devra par conséquent prendre en compte les temps de réaction optimum des conducteurs et la variabilité des sujets et de leurs modes opératoires afin que le message d'alerte soit efficace pour tous. Cette variabilité interviendra de façon essentielle parmi les déterminants de la conception d'un produit.

Les aides à la conduite sont conçues pour assister le conducteur, en lui fournissant les informations nécessaires à ses besoins. Il est pour cela important d'étudier le comportement du conducteur automobile dans diverses situations afin d'évaluer ses besoins. Quelles informations sont pertinentes à tel moment ? Comment doit on les présenter afin qu'elles aident le conducteur sans le perturber ?

Selon **Malaterre (1992)**, "**Une aide à la conduite est un dispositif qui assiste le conducteur dans la réalisation d'une sous tâche de conduite en prenant en charge certains aspects ou en doublant certaines fonctions**".

Cet auteur cite plusieurs facteurs d'efficacité des aides à la conduite qui sont à prendre en compte lors de l'élaboration d'un système d'aide :

- * *l'acceptabilité du système par les conducteurs afin qu'ils utilisent effectivement cette aide. Il est à savoir qui si l'information présentée est différente du jugement du conducteur, il suivra son propre avis.*
- * *la charge mentale, il est nécessaire que le système ne détourne pas l'attention du conducteur, et que l'information présentée soit suffisamment simple pour ne pas perturber et interférer avec la tâche de conduite.*
- * *la fiabilité : le système ne doit pas faire d'erreurs ou présenter des pannes mettant en danger les conducteurs.*
- * *l'adaptation aux comportements : il est à prendre en compte que l'installation d'aide à la conduite dans le véhicule va modifier les comportements du conducteur et le seuil de risque propre à chacun. En effet chacun accepte un niveau de risque, si on améliore les conditions de sécurité, son seuil sera augmenté.*

Ainsi, la future conception des systèmes anticollision passe par la définition des temps de réactions optimums prenant en compte la variabilité intra et inter individuelle ce qui est l'objet principal de cette recherche.

L'objectif de cette recherche vise à la reprise des travaux de **M. Zakosek** sur un échantillon plus large. Néanmoins, nous avons apporté certaines modifications méthodologiques sur les modes de calcul des temps de réactions que nous détaillerons ultérieurement.

Il va sans dire que les perspectives à long terme de ce travail vise à connaître les capacités fonctionnelles des conducteurs en situation d'urgence, en attention partagée.

I. PARTIE THEORIQUE

Notre partie théorique se décompose en deux parties. La première relate quelques notions de physiologie du mouvement dans la mesure où nous enregistrons bien une réponse sensori-motrice. La deuxième partie traite plus particulièrement des problèmes liés au vieillissement cognitif et moteur.

I.1 Notions de physiologie du mouvement

I.1.1 L'activité gestuelle

I.1.1.1 *Le but du geste*

Les topocinèses sont des mouvements spatialement orientés ; l'amplitude et la direction du geste sont déterminées par la position des objets dans l'espace (exemples : capture d'une proie, saisie manuelle). (Paillard, 1974, in "Traité de psychologie cognitive, Tome 2").

Dans les morphocinèses la forme du geste est l'objectif même de l'activité du sujet, le projet porte sur le mouvement lui-même, l'espace n'étant que le support de la motricité (ex l'écriture).

I.1.1.2 *Classification des mouvements*

On peut en déterminer plusieurs : des lents et des rapides mais seule l'étude des mouvements rapides nous intéresse pour cette étude.

Il existe un grand nombre de classifications possibles du mouvement ; par exemple, les mouvements d'ensemble du corps par rapport aux mouvements segmentaires, les mouvements simples par rapport aux mouvements complexes, les mouvements habiles par rapport aux mouvements perturbés. Ces deux grandes catégories de mouvements se différencient en effet d'une part par le mode de recrutement des fibres musculaires, d'autre part par la possibilité qu'à le sujet d'en corriger l'exécution.

Lors d'un mouvement très rapide ou balistique, durant une centaine de millisecondes, toutes les fibres musculaires impliquées dans la tâche sont recrutées en même temps (sur un mode impulsif) (Paillard, 1982). Si le mouvement n'est pas freiné, son amplitude dépendra donc uniquement du nombre de fibres musculaires recrutées.

Si l'on s'intéresse à la **cinématique** d'un tel mouvement, c'est à dire à l'étude de sa trajectoire vitesse et accélération, on constate que sa trajectoire est continue : l'accélération ne s'annule qu'une fois. Toute la force étant appliquée au départ (appui sur une pédale de frein), le segment mobilisé passe très rapidement par un maximum d'accélération puis par un maximum de vitesse avant d'être freiné par les forces de résistance passives (résistance d'une pédale par exemple) ou actives (commandées par le sujet). On comprend aisément que vu la rapidité d'un tel mouvement, que celui-ci ne puisse être corrigé en cours d'exécution. Tous ces paramètres doivent être fixés avant son déclenchement. On sait que l'acheminement des informations sensorielles nécessite un délai. *Pour les informations provenant des muscles, tendons et articulations, un délai de 110 ms à 130 ms serait nécessaire (Higgins & Angels, 1970 cités in "Traité de psychologie cognitive, Tome 2").* Pour tous mouvements de durée inférieure à ce délai, on peut donc exclure une participation des informations sensorielles au contrôle des mouvements en cours.

1.1.1.3 Le geste dirigé

L'**activité cinétique** résulte de la mise en oeuvre coordonnée des différentes parties mobiles des membres engagés dans la réalisation de l'acte déterminé. Cette coordination s'exprime dans une activation de la musculature ordonnée dans l'espace et dans le temps afin que le mouvement qui en résulte soit utile et efficace.

Il s'agit donc d'un véritable **programme d'action**. L'organisme dispose d'un certain répertoire de montages moteurs innés et de réactions apprises qui vont lui permettre de réagir de manière appropriée aux situations qu'il affronte dans son environnement. Ces montages moteurs peuvent permettre la réalisation de gestes dirigés et de comportements associés aux grandes fonctions qui exigent pour leur accomplissement des activités motrices variées (activité d'ensemble dans lequel la totalité de l'individu se trouve engagée).

Les niveaux d'analyse de l'activité cinétique

L'analyse des phénomènes qui composent l'activité cinétique peut se placer à des niveaux très différents. Du niveau le plus élémentaire (cellule musculaire et muscle) au niveau le plus global (activités comportementales : accomplissement de séquences d'activités complexes qui trouvent leur unité et leur signification dans les objectifs assignés à l'action).

L'activité cinétique orientée vers l'accomplissement d'un geste

La mise en oeuvre des éléments qui composent l'activité cinétique (de la cellule musculaire aux activités comportementales) suppose un système de relations spatiales avec les objets ou les individus de l'environnement. Ce système de relation est appelé **téléocinèse**. Les activités téléocinétiques sont celles qui sont déclenchées, orientées et adaptées au service du dialogue permanent qu'établit l'individu avec son environnement.

Les mouvements accomplis en situation de travail qui résultent de la mise en oeuvre coordonnée des segments corporels sont des activités téléocinétiques plus ou moins complexes. Ces mouvements sont des gestes lorsque les activités motrices impliquées se font sans déplacement de l'ensemble du corps. On peut distinguer des gestes d'action et des gestes de communication. L'analyse du mouvement comme geste dirigé doit se faire en tenant compte de ces téléocinèses, ce qui revient à placer l'analyse au niveau des programmes de coopérations musculaires qui contribuent à la direction de l'acte.

Nous allons maintenant rappeler les différentes caractéristiques d'un geste et les activités musculaires impliquées.

Les activités musculaires associées à la réalisation d'un geste dirigé peuvent être différenciées en fonction de leur rôle dans le programme moteur mis en oeuvre.

- * *Les muscles moteurs principaux accomplissent directement l'acte final. Dans le cas du geste il s'agit principalement de la musculature fine des articulations discales qui permettent par exemple les attitudes et les mouvements précis de la main. Ces muscles moteurs (**agonistes**) pouvant être associés à des muscles modérateurs (**antagonistes**) qui contrebalancent et freinent l'action des précédents pour permettre un ajustement précis des mouvements.*
- * *Les muscles directeurs accompagnent le mouvement en assurant la stabilisation des pièces du squelette. Il s'agit de la musculature grossière des articulations proximales qui est responsable du mouvement et de la stabilisation du membre supérieur.*

*On peut distinguer dans ces muscles ceux qui entrent en synergie avec les muscles moteurs principaux et qui coopèrent à l'acte final par stabilisation des extrémités distales (**muscles synergistes**) de ceux qui stabilisent uniquement les articulations proximales en amont des précédentes (**muscles fixateurs**).*

La coordination des diverses activités musculaires fixe les modalités de participation de chacun des muscles concernés (J.L Flores in cours du CNAM, Physiologie du mouvement, 1994).

Les régulations du geste dirigé

Les activités motrices organisées autour du geste dirigé exigent un programme central qui contient tous les éléments de l'organisation spatio-temporelle de ces activités.

A/ Activité sensorielle

Les programmes moteurs associés au geste dirigé exigent la participation des stimulations sensorielles. Elles participent à la prise d'information nécessaire à l'accomplissement du geste et à l'élaboration du **programme moteur** : nature et situation des objets, position du corps dans l'espace par rapport à l'objet. Elles ont également un grand rôle dans le contrôle du **programme balistique du mouvement** : tension musculaire, résistance au mouvement, vitesse et direction du déplacement. (Propriocepteurs musculaires et articulaires et informations visuelles). Ces afférences assurent la flexibilité et la plasticité des programmes directeurs par l'ajustement de ces derniers aux variations imposées par les contraintes de l'environnement. Dans le cas des mouvements complexes les informations visuelles sont d'autant plus sollicitées que la tâche est complexe ou inhabituelle.

Les muscles, effecteurs de la motricité, sont à considérer comme organes des sens. Les récepteurs portés par les effecteurs apportent des informations proprioceptives au conducteur. Les muscles contiennent en effet des récepteurs sensoriels (appelés fuseaux neuro-musculaires disposés parallèlement aux fibres musculaires) renseignant sur leur état d'allongement lorsque le sujet maintient une position (condition statique) et sur les variations de longueur qu'ils subissent lorsque le sujet effectue un mouvement (condition dynamique).

Les tendons (rattachant muscles au squelette) contiennent eux aussi des récepteurs sensoriels (organes tendineux de golgi) disposés en série par rapport aux muscles. Ils sont sensibles aux variations de force et peut être à l'intensité des forces mises en jeu lors de la contraction musculaire. Ils renseignent sur l'effort produit au cours du mouvement actif ou passif imposé par l'expérimentateur.

Les articulations renferment des récepteurs articulaires, dont on pense actuellement qu'ils n'émettent de messages que lorsque l'articulation est dans une position extrême. Ces messages seraient, de ce fait, plutôt à l'origine de réflexes de protection de l'articulation qu'à l'origine d'une connaissance des positions respectives des segments corporels.

Plus superficiels (cutanés, sous cutanés), les récepteurs tactiles informent sur les déformations imposées à la peau. Lorsque le sujet saisit un objet, il sent la pression qu'il exerce sur ses contours.

Véhiculés par les voies somesthésiques, les messages issus de tous ces récepteurs sont intégrés à différents niveaux, notamment au niveau du cortex somesthésique ; ils se projettent alors de façon extrêmement ordonnée, et, dans la plupart des cas, d'autant plus précise que la gestualité de la région corporelle est fine. Les messages sensoriels ventilés à tous les niveaux du système nerveux participent aux régulations sensori-motrices (intégration sensori-motrice) et à l'émergence de sensations conscientes (intégration perceptive).

Au niveau cortical, l'intégration perceptive des messages sensoriels nous permet d'avoir conscience des positions et mouvements respectifs de nos segments corporels même lorsque nous ne les voyons pas. (Roll, 1987, cité in "Traité de psychologie cognitive, Tome 2"), on parle alors **de schéma corporel**.

B/ Aspects centraux dans la programmation et le contrôle du mouvement

Il existe une mémoire centrale du geste qui n'est pas directement utilisable. Quand le sujet a décidé du programme moteur généralisé qu'il veut utiliser, il lui faut encore actualiser celui-ci (Spécifications des paramètres du programme) en fonction du contexte dans lequel le mouvement va s'inscrire. Réalisées en utilisant des mouvements rapides (nécessitant donc une spécification de tous les paramètres avant le déclenchement du mouvement) les expériences de temps de réaction permettent de mettre en évidence et d'étudier cette étape de spécification (appelée également étape de programmation).

Les structures centrales assurent le traitement des informations au niveau des aires spécifiques et des structures d'intégration : perception et interprétation des signaux afférents, stockage et confrontation avec la mémoire immédiate et à long terme (LT), prise de décision et choix de la stratégie.

En ce qui concerne le contenu de ces programmes moteurs (paramètres codés par le système nerveux central), de vives discussions sont actuellement en cours (**Stelmach, 1982, Stein, 1982** cités dans "Traité de psychologie cognitive, Tome 2"), on peut cependant facilement démontrer que le programme n'est pas une mémoire des contractions musculaires mais une mémoire du mouvement, nous ne retiendrons ici qu'une évidence particulièrement facile à comprendre : celle dite des équivalences motrices (**Hebb, 1949** cités dans "Traité de psychologie cognitive, Tome 2"). Lorsqu'on demande à un sujet d'écrire une phrase en utilisant la main droite, le bras droit, la main gauche, la bouche ou le pied droit, on reconnaît bien la même phrase. Les gestes ainsi produits ont de nombreux points communs (même forme, invariants...), ils ont donc été générés par le même programme moteur ; pourtant les muscles impliqués et les commandes envoyées à ces muscles pour produire le geste ont nécessairement été très différents. Il apparaît ainsi que le programme, qui s'actualise par une série de contractions musculaires organisées, n'est cependant pas une mémoire de ces contractions mais une mémoire du mouvement lui-même. S'il apparaît clairement que le programme moteur ne code pas les contractions musculaires mais bien le mouvement, la question de son contenu reste ouverte et fort débattue et ses questions se posent différemment selon la nature des mouvements et les caractéristiques du sujet. Les caractéristiques invariantes du mouvement sont de toute évidence l'expression de lois générales régissant l'organisation spatio-temporelle de la motricité, lois qui réduisent la complexité du contrôle du mouvement. Cependant dégager les propriétés invariantes d'un geste n'apporte qu'une indication indirecte sur les paramètres de ce geste centralement contrôlés. Ainsi, lorsqu'on constate l'homothésie spatiale dans l'écriture, on ne peut pas savoir si ce sont les pourcentages de longueur qui sont invariants ou, de façon équivalente, les pourcentages de force déployée. Ceci impliquerait dans un cas le contrôle de la longueur totale du trait, dans l'autre le contrôle de la force totale (énergie) du mouvement. Le contrôle des paramètres cinématiques (amplitude, direction, vitesse) versus celui des paramètres dynamiques (force, masse, raideur) donnent ainsi lieu à de nombreux travaux. Le débat sur le contrôle de l'amplitude du mouvement de pointage est à ce titre illustratif, on peut en effet envisager trois grandes hypothèses. On peut faire l'hypothèse d'un contrôle spatial direct de l'amplitude du mouvement. Cette hypothèse implique l'existence d'un système de transformation des coordonnées spatiales en coordonnées articulaires (**Pellioncz & Llinas, 1980**, in Traité de psychologie cognitive, Tome 2).

Ceci revient à dire que l'amplitude est déterminée pendant le mouvement par le contrôle de la trajectoire. On peut également faire l'hypothèse d'un codage de la force et de sa durée d'application, ces deux variables suffisent en effet à déterminer la vitesse, l'accélération et le point d'arrivée du mouvement, donc son amplitude. L'amplitude est donc ici déterminée indirectement (**Schmidt et al, 1979** cités in "Traité de psychologie cognitive, Tome 2"), dès le départ du mouvement. Enfin on peut faire l'hypothèse que le paramètre contrôlé est le point final du mouvement, conçu comme point d'équilibre entre muscles agonistes et muscles antagonistes en termes de longueur et de tension du muscle (**Bizzi et al, 1976, 1978 ; Kelso et al, 1980**) ; là encore le contrôle de l'amplitude serait indirect.

C/ Activité motrice

Elle débute par l'activation des centres moteurs et le codage des ordres moteurs qui sont transmis aux muscles par le faisceau pyramidal.

Les théories sur le contrôle moteur

Si l'intervention des processus cognitifs au cours des étapes de planification et de programmation du mouvement a été bien identifiée, il n'en va pas de même pour leur intervention au cours de l'exécution motrice (Zanone & Hauert, 1987 cités in "Traité de psychologie cognitive, Tome 2"). Cela provient en particulier du caractère élémentaire et souvent non conscient de ces processus, consécutif la plupart du temps à leur automatisation au cours de l'apprentissage.

L'acquisition de ces chaînes opératoires (ou de ces habiletés) implique, au moins dans les premières phases de l'apprentissage, une intervention dense des processus cognitifs, mais ces phrases correspondent plus à l'établissement du projet d'action qu'à son contrôle pendant l'exécution. Ce n'est que par la suite qu'on peut réellement traiter de l'évolution des modes de contrôle de l'action dans l'organisation même de celle-ci.

On distingue fréquemment les habiletés mentales et les habiletés motrices, cependant de nombreux points communs existent entre elles ; notamment dans la mesure où, dans tous les cas, les auteurs sont conduits à souligner la diminution, voire la disparition, d'une activité cognitive consciente, sauf bien entendu en ce qui concerne le déclenchement de l'action.

1.1.1.4 Les types d'activités gestuelles

Le geste de **l'utilisation d'une pédale de frein** combine plusieurs séquences et **suppose un geste de positionnement suivi de gestes continus et statiques (J.L. Flores, cours du CNAM, physiologie du mouvement, 1994).**

Il s'agit d'un geste de **positionnement** dans la mesure où le conducteur déplace son membre inférieur par rapport au tronc. Ce qui est important de contrôler pour ce type de geste c'est le point de départ du segment distal et son point d'arrivée (mouvement du pied droit de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein). La vitesse maximale de l'exécution d'une chaîne articulée ouverte est fonction des caractéristiques physiologiques et de l'expérience de l'individu. Elle va dépendre de la vitesse propre du raccourcissement des muscles et de l'intensité même faible des résistances qui s'opposent au déplacement de l'extrémité distale (résistance de la pédale) On a pu montrer également que la vitesse d'exécution dépendait du type de geste. La relation entre durée du geste et amplitude du déplacement n'est pas proportionnelle. **Barnes (1953)** a montré qu'un mouvement est d'autant plus rapide que l'amplitude du déplacement est importante. Ceci s'explique par le fait que pour des mouvements d'amplitude suffisante la relation force/vitesse de la contraction musculaire est optimisée. La vitesse du mouvement, par exemple le mouvement de l'avant bras est plus rapide que celui de l'ensemble du membre supérieur.

En ce qui nous concerne, il s'avère possible que le mouvement unique de l'articulation distale du pied sera plus rapide que le déplacement totale du membre inférieur au cours du freinage.

La précision du positionnement de l'extrémité distale dépend de l'importance de l'amplitude du mouvement, de la vitesse et de la direction. Les mouvements sortants sont plus précis que les mouvements rentrants. La précision diminue au fur et à mesure que l'amplitude du geste augmente. Du point de vue de la précision c'est la direction à 90° qui est la meilleure. Le meilleur compromis entre vitesse et précision est obtenu pour des angles de 60°.

Il s'agit également d'un **geste continu** ou à contrôle sensori-moteur continu qui nécessite des ajustements continus en réponse au changement d'informations en provenance du processus faisant l'objet d'un mouvement. Le temps nécessaire à l'accomplissement de ce type de geste n'est également pas proportionnel à la longueur. Les caractéristiques de vitesse et de précision en fonction de la direction présente une remarquable similitude avec les gestes de positionnement. L'amplitude des gestes continus modifie également leur précision.

Il s'agit enfin d'un **geste statique** qui se caractérise plutôt par l'absence de mouvement ce qui le rend très proche d'une chaîne articulée fermée.

Dans une **chaîne articulée fermée**, l'extrémité distale rencontre une résistance au déplacement extérieure qui empêche ou limite le mouvement (résistance de la pédale de frein). Une force plus ou moins importante doit être développée par les muscles pour vaincre cette résistance. Cette force ne peut être transmise à l'extrémité distale (main ou pied) que dans la mesure où une partie du membre est stabilisée en un maillon rigide. Ceci implique la nécessité d'un verrouillage simultané de plusieurs articulations par une activité musculaire de type statique (sans raccourcissement) des antagonistes et des agonistes.

Généralement, pour la conception de commandes, on applique les données relatives à la **Force Maximale Volontaire (FVM)**. La force maximale volontaire d'un groupe de muscles est la force qui peut être maintenue au cours d'une contraction isométrique (travail statique) de 4 à 5 secondes. Elle correspond habituellement à la mise en jeu de l'ensemble des unités motrices des muscles considérés.

Lorsque la partie périphérique est en mouvement, en plus de la FVM, il faut tenir compte de la vitesse d'exécution du mouvement. En effet, la vitesse du mouvement est d'autant plus réduite que la résistance est importante.

Les données issues de la FVM sont principalement utilisées pour préciser les niveaux limites de forces utilisables pour l'utilisation des commandes et des ports d'objets. Les forces susceptibles d'être développées par un individu dépendront fortement de la posture, de la possibilité d'utiliser des appuis ou le poids du corps, de la chaîne fermée concernée (segment distal, ensemble du membre, tout ou partie du corps), de la direction du mouvement, et des angles formés par les différents maillons de la chaîne mise en oeuvre.

La force maximale volontaire dépend de l'âge, du sexe (55 à 80 % de différence négative par rapport aux hommes suivant les muscles), de l'entraînement... On observe des variations intra individuelles très importantes (10 à 20 % selon l'heure de la journée). L'effet de l'âge est marqué (20 à 30 % de différence entre 20 et 65 ans). Les femmes développent des FVM de la main droite qui correspondent au tiers de celles des hommes. Si l'on compare les côtés gauche et droit on constate des différences de 5 à 6 % aux membres supérieurs et 8 à 9 % aux membres inférieurs.

I.2 Incidences du vieillissement : aspects physiologiques et cognitifs

Les modifications des déficiences fonctionnelles croissent avec l'âge : habileté motrice, traitement de l'information, vigilance et attention. *Ces déficiences donnent lieu à des stratégies compensatoires* (Salthouse, 1985 ; Welford, 1958). Cependant, hormis quelques exceptions (Yanick, 1989 ; Mortimer), peu de données concernant l'individu âgé sont disponibles dans la littérature et notamment dans le domaine du transport et de la conduite automobile. D'une façon générale, on peut dire que le moment d'apparition des déficiences varie de manière considérable selon la fonction considérée avec des différences inter individuelles très importantes.

Ainsi, le consensus généralement admis indique qu'en termes de processus d'attention ce sont les processus d'attention sélective qui seraient les processus perceptivo-cognitifs les plus liés aux taux d'accidents (Parasuraman & Nestor, 1991). *D'autres processus cognitifs telles que la prise de décision, la mémoire à court et moyen termes dont nous parlerons plus loin et qui sont des processus importants dans l'activité de conduite, diminuent également avec l'âge* (auteurs cités par A. Pausie dans le travail humain, 1995 a).

I.2.1 Vieillissement et traitement des informations visuelles

Au niveau perceptif, les conducteurs âgés seraient moins à même d'utiliser la vision périphérique pour détecter les informations pertinentes (Mourant, 1979 ; Rackoff, 1975). *Ainsi, une relation a été établie entre la diminution de l'étendue du champ visuel, liée au vieillissement, et l'implication dans un accident* (Johnson & Keltner).

Une source majeure de changements affectant le comportement avec l'âge réside dans les étapes centrales du traitement de l'information, c'est à dire dans les aspects cognitifs allant des processus de discrimination et de codage les plus simples aux processus de manipulation complexe de l'information et de décision.

Ainsi, diverses méthodes utilisées dans l'étude de la perception révèlent, à un niveau élémentaire, un déclin de la vitesse avec laquelle le système visuel vieillissant est capable de traiter un signal, se rendant ainsi disponible pour le suivant (DI Lollo, 1982). Ces travaux suggèrent qu'une part importante de ce phénomène relève d'un ralentissement significatif du fonctionnement du SNC. Tout se passe comme si chaque événement nerveux fondamental nécessitait plus de temps avec l'âge (La Fratta et Canestrari, 1966). Un moyen de compensation réside dans la possibilité d'une inspection plus longue des signaux, permettant une accumulation plus grande d'énergie sur la rétine mais aussi un traitement plus complet de l'information (Eriksen et al, 1970). Dans la conduite automobile, cette régulation peut être aisément mise en oeuvre lorsque le sujet a la maîtrise de ces facteurs temporels, en réduisant sa vitesse par exemple. A l'inverse, lorsque ces exigences leur sont imposées, les personnes âgées peuvent se trouver en plus grande difficulté que les jeunes. Cette réduction de la vitesse de fonctionnement du SNC mesurée à un niveau élémentaire a aussi des implications à des niveaux plus élaborés. Dès qu'un nombre plus grand de types de traitements et d'opérations élémentaires sont nécessaires dans les tâches complexes, et que chaque opération élémentaire est supposée plus lente chez les sujets âgés, on peut penser, comme le suggèrent certains auteurs (Salthouse, 1985), que l'écart entre jeunes et âgés va augmenter avec la complexité des tâches.

Au niveau des mécanismes de traitement de l'information, plusieurs auteurs ont examiné la capacité de discrimination en présence de signaux tels que des lettres, des chiffres, ou des symboles devant être distingués par rapport à d'autres signaux présents dans le champ visuel.

Rabbitt a montré que la présence de signaux non pertinents peut gêner la détection et l'identification des signaux utiles, dans une proportion plus élevée chez les sujets âgés. Il découle de ses travaux que plus le lien entre le signal et la réponse qui lui est associée est simple et repose sur des conventions bien intégrées, plus la réponse pourra être rapide, fiable et moins saturante du point de vue de la charge mentale, car s'effectuant sur un mode automatique. Lorsque des stimuli abstraits sont utilisés, les sujets âgés se montrent plus lents que les jeunes (**Cerella, Berg**, 1982). A l'inverse, lorsque les stimuli sont des lettres de l'alphabet, aucune différence n'apparaît (**Jacewicz et Hartley**, 1979). Cet exemple illustre que dans les situations où la tâche et les dispositifs de signaux et de commande sont bien maîtrisés grâce à de longues années de pratique, les difficultés de codage sont minimisées. Néanmoins, selon **Stelmach, Goggin**, et **Amehein**, 1988, l'âge entraînerait des déficits dans la restructuration de la planification du mouvement. **Staplin, Janoff** et **Decina**, 1985, ont montré que le temps de réaction (TR) diminuait lorsque les réponses étaient pré planifiées. Ils montrent notamment que les TR sur des tâches de conduite automobile telles que freinage, suivi de trajectoire peuvent être diminuées si elles sont anticipées.

Néanmoins, dans leurs travaux sur les habiletés cognitives, **Baron et Mattila**, 1989, trouvent que lorsque le temps de réponse est limité, les temps de réaction des sujets âgés diminuent avec la pratique.

En effet, il faut noter que la pratique peut améliorer la perception. Dans des tâches de temps de réaction (**Murrell**) et de discrimination visuelle (**Salthouse et Somberg**, 1982), une augmentation importante de la performance a ainsi été obtenue. **Ball et Sekuler**, 1986, ont étudié la perception de la direction du mouvement sur un échantillon jeune (moy = 21 ans) et âgés (moy = 68 ans), au cours de plusieurs journées de pratique. Bien que l'amélioration de la performance ait profité à tous de manière identique, la répétition de l'épreuve a permis d'amener la performance finale des sujets âgés au niveau de la performance initiale des jeunes. Ils ont ainsi clairement démontré que les observateurs âgés peuvent profiter avantageusement d'un entraînement perceptif ; tout au moins dans un certain nombre de fonctions non soumises à des limitations optiques. (auteurs cités dans "Traité de psychologie cognitive, Tome n° 2").

C. Marin Lamellet (1993) a effectué une étude comparative sur 20 sujets ayant entre 24 et 33 ans et 20 sujets âgés ayant entre 52 et 66 ans, sans déficit visuel grave. Il montre que les sujets âgés n'ont pas mis significativement plus de temps à prélever l'information sur l'écran embarqué en situation de détection réponse de l'information (flèches seules). La stratégie adoptée par les conducteurs âgés pour prélever l'information visuelle se concrétise par une anticipation du message plus importante que les jeunes. Ils surveillent l'écran embarqué même éteint. Cette activité de surveillance améliore la performance des conducteurs. Mais la prise d'information est plus longue chez les personnes âgées. Ils visualisent plus longtemps l'information réelle sur l'écran et augmente la durée de leurs regards sur l'écran éteint. Par contre, en situation d'attention partagée, les conducteurs âgés ne peuvent plus utiliser cette stratégie. Il fixe moins longtemps l'image d'où une utilisation moins bonne de la mémoire de travail. Ce phénomène entraînerait une augmentation du temps nécessaire à la prise de décision et une augmentation des erreurs.

Pauzie & Al dans "Prise en compte des capacités fonctionnelles des usagers âgés dans les situations de transport", (1992 b), ont effectué une enquête d'auto évaluation subjective sur les capacités fonctionnelles et les habitudes de conduite sur 1 033 personnes dont 764 conducteurs (trices) représentatifs de la population française. *"Les personnes interrogées déclarent qu'elles considèrent les problèmes visuels comme étant les plus sérieux. Les pertes de vision nocturne sont compensées en réduisant la conduite de nuit à de courts trajets dans des zones familières ou en éliminant cette situation purement et simplement.*

En ce qui concerne les difficultés de lecture de la signalisation routière, une enquête relativement récente aux Etats-Unis (Yee, 1985) a montré que 25 % des conducteurs âgés ont des problèmes de lecture des panneaux routiers. Parmi eux, le problème le plus fréquemment évoqué (42 %) était l'emplacement du panneau, et, également, la clarté de l'affichage des lettres et du message".

I.2.2 Vieillesse et sensori-motricité

On peut émettre l'hypothèse que l'intervention des processus cognitifs a lieu au cours des étapes de planification et de programmation du mouvement (lever son pied de l'accélérateur, déplacer son pied de la pédale d'accélérateur à la pédale de frein, enfoncer la pédale de frein) Il pourrait y avoir actualisation de la mémoire centrale et recherche du programme moteur (mémoire du mouvement et des propriétés cinématiques (amplitude, direction, vitesse) et dynamiques (force, masse, raideur)). Mais peut on parler d'intervention cognitive au cours de l'exécution motrice ? En effet, le temps de réaction n'a t il pas un caractère élémentaire et souvent non conscient, consécutif la plupart du temps à leur automatisation au cours de l'apprentissage ? L'acquisition dans les premières phases de l'apprentissage (ou ces habiletés) implique au moins dans les premières phases de l'apprentissage une intervention dense des processus cognitifs, mais ces phases correspondent plus à l'établissement d'un projet d'action qu'à son contrôle pendant l'exécution. Le point commun entre les habiletés motrices et mentales conduit à souligner la diminution, voire la disparition d'une activité cognitive (sauf en ce qui concerne le déclenchement de l'action). Peut on alors parler d'activité cognitive en ce qui concerne la réponse au message auditif après une phase d'apprentissage ou vaut il mieux parler de réponse sensori-motrice ?

L'évolution de la sensori-motricité ne se termine pas à l'âge adulte, il est bien connu qu'au cours du vieillissement, des modifications fondamentales interviennent, qui se traduisent principalement par une perte des capacités motrices et mnésiques (Welford 1964).

On observe des phénomènes biologiques liés au vieillissement à savoir une réduction du nombre et de la valeur fonctionnelle des cellules spécialisées (neurones), une altération des défenses immunologiques, une altération des fibres du collagène (principal constituant du tissu conjonctif), avec une perte des propriétés élastiques du cristallin, une baisse de l'amplitude de tous les mouvements et une involution du système cardio-vasculaire. Ces différents phénomènes ont comme conséquence une diminution de l'aptitude gestuelle, des troubles posturaux et des fonctions sensorielles. En ce qui concerne les aspects sensori-moteurs, le trait le plus immédiatement perceptible du comportement des personnes âgées est la lenteur de tous les gestes. Ainsi, pour les mouvements du bras, un geste de pointage dure en moyenne (temps de réaction et temps de mouvement compris) 350 ms chez les 18-25 ans, 400 ms chez les sujets de 40-50 ans et 650 ms chez les sujets âgés (65-75 ans) (Stelmach & all 1987), auteurs cités dans "Traité de psychologie cognitive, Tome 2".

Ronge cité par **Sherrer** dans "Précis de physiologie" (1982) examine, sur la face palmaire du segment distal de l'index, le nombre de corpuscules de Meissner, organes de sensibilité tactile et en constate une diminution à partir de la 1^{ère} année de la vie. Citons également la sensibilité à la vibration, sensibilité pour laquelle **Cosh** démontre une augmentation du seuil avec l'âge. Ici encore, le seuil le moins élevé, donc la sensibilité la plus aiguë, caractérise les sujets les plus jeunes, et sa diminution progressive à partir de 5 ans, première classe d'âge observée. En fait, aucune fonction sensorielle ne résiste à l'action destructive du vieillissement.

Ce bref résumé des altérations sensorielles nous rappelle l'existence d'une plus grande difficulté pour les âgés pour recevoir l'information avant même qu'elle ne soit traitée. Il souligne qu'il existe, dans ce seul domaine, des possibilités importantes d'action pour améliorer la communication entre l'individu vieillissant et son environnement (**Hugues et MC Nelis**), notamment dans le domaine des transports où des efforts de recherche se développent à l'heure actuelle en relation avec le vieillissement (**Sivack, Ginsburg**, 1982 auteurs cités dans "Traité de psychologie cognitive, Tome 2").

I.2.3 Vieillessement et temps de réaction à des messages auditifs

De 1973 à 1989, 1 318 sujets, volontaires, de CSP et situation familiale homogène, de 20 à 96 ans ont complété les batteries de tests effectués par **BLSA** ("Baltimore longitudinal study of aging") en ce qui concerne les temps de réaction à des messages auditifs (dans "Cross sectional and longitudinal analyses of set in relation to age", 1991) L'objectif de ce laboratoire d'Hawaii est de quantifier et de prédire le degré de dégradation des performances sensori-motrices lié au vieillissement. Néanmoins un de leur souci est également de déterminer si la diminution des temps de réaction est liée à l'âge ou à la prise de médicaments, aux différentes pathologies.... Les résultats des études transversales révèlent une différence significative quand à la diminution de la médiane en ce qui concerne les temps de réaction simples (SRT) et les temps de réactions "disjonctifs" (DRT) ainsi qu'au niveau de la variance. En clair, les temps de réaction augmentent avec l'âge. Il est significatif que les hommes ont des temps de réaction plus rapide que les femmes pour les SRT (tâche simple de réponse à un message auditif) et DRT (tâche simple plus tâche de réponse à des questions orales). Les études longitudinales produisent des résultats similaires, la différence avec les études transversales relatant un affaiblissement des temps de réaction avec l'âge.

Les temps de réaction (RT) sont généralement utilisés comme indicateurs d'intégration des messages au niveau du SNC. Généralement, les études BLSA ont montré que les temps de réactions des hommes sont plus rapides que ceux des femmes (**Bleecker, Bolla, Wilson, Agnew, Meyers, 1987 ; Botwinick & Storandt, 1974, Fozard, Verduyssen, Reynolds, Hancock, 1990 ; Harkins, Nowlin, Ramm, Schroeder, 1974 ; Lahtela, Niemi, 1985, Simon, 1967**). Au contraire, **Nobble, Baker et Jones** (1964) ont trouvé que les femmes âgées entre 71-87 ans s'avèrent légèrement plus rapides que les hommes. Par contre, **Landaeur** (1981), **Armstrong, Digwood** (1980) ne trouvent pas de différence significative sur les temps de réactions moteurs et prémoteurs.

Dans cette étude, les sujets, en ce qui concerne la tâche simple (TRS) devaient répondre au stimulus auditif (bifréquentiel : 250 et 1 000 Hz). Dans la tâche disjonctive (tâche simple plus tâche de réponse à des questions orales), seul un ton à 1 000 Hz était envoyé. Les sujets étaient testés sur 3 ans sur 2,5 jours de tests. Les sons étaient envoyés avec des intervalles différents entre chaque présentation (6-13 sec). La performance n'était pas renvoyée aux sujets. Un entraînement préalable consistait à répondre à 26 tons différents. Sur 26 essais, 13 à 250 Hz étaient enregistrés et 13 à 1 000 Hz sur SRT (tâche simple réponse à un message auditif) et DRT.

En ce qui concerne les résultats transversaux pour la tâche simple (TR), on constate que le temps de réaction augmente significativement avec l'âge ($P < .00005$) ce qui signifie un ralentissement des réponses sensori-motrices lié au vieillissement. Il s'avère également que les hommes sont plus rapides que les femmes ($P = 0.0002$).

En résumé, **Chang** (1991) a montré que les temps de réaction (S-R : appui manuel sur une touche) à des stimulus auditifs parfaitement audibles de 250 et 1 000 Hz, s'accroissent régulièrement avec l'âge.

Sur une population globale de 1 318 personnes, les temps de réponse à un stimulus auditif varient de 250 ms en moyenne pour des hommes de 20 ans, à 370 ms en moyenne pour des hommes de 90 ans. On observe également que la population observée perd en moyenne 40 ms entre 20 ans et 70 ans, et 70 ms entre 70 ans et 90 ans. La moyenne des temps de réponse augmente avec l'âge ainsi que la variabilité individuelle. Dans le programme "Baltimore longitudinal study of aging" (**BLSA**) (années 1970), sur la même population, en comparant le temps de réaction simple (un type de message tonal et une seule réponse) et le temps de réaction disjonctive (2 messages tonaux dont un seul devant donner lieu à une seule réponse motrice), la dégradation des temps de réponse apparaît significative sur une courte période de temps (4 ans) en ce qui concerne celui-ci. Ce qui tendrait à signifier que la dégradation rapide et relativement importante de la performance se situerait donc au niveau des mécanismes centraux de traitement de l'information, soit dans l'identification du signal tonal (aigu ou grave) soit dans la prise de décision (information suffisante pour décider de l'action).

Ainsi, les résultats obtenus pour les études transversales peuvent être résumés par un ralentissement des temps de réaction simple (SRT), les différences étant plus importantes sur les temps de réactions disjonctifs (DRT), les hommes sont par ailleurs plus rapides que les femmes, cette différence étant cependant moins importante en attention focalisée (SRT) qu'en attention partagée (DRT).

Néanmoins quelques points varient en ce qui concerne les études longitudinales. Pour un sujet, le temps de réaction n'est pas significativement plus lent après une longue période de temps si on compare un intervalle de temps de 6 sec ou 13 sec. La différence en fonction de l'âge est plus importante en tâche double (réponse à un signal auditif plus réponse à des questions orales (DRT) qu'en SRT (tâche simple réponse à un message auditif). Le temps de réaction en attention focalisée (SRT) diminue approximativement de 0,5 ms par an et de 1,5 ms en attention partagée (DRT). Même si cette différence peut paraître insignifiante, ajoutée aux autres ralentissements cités ci-dessus et liés au vieillissement, ce phénomène peut être perturbant pour les conducteurs âgés. Si on regarde les résultats obtenus, on note que non seulement les sujets deviennent plus lent avec l'âge mais que la différence intra individuelle croît également. **Chang**, sur le même type d'expérimentation avec des temps d'intervalle différents (6-7-8-9-10-11-12-13 s) trouve des résultats similaires si ce n'est que le SRT (tâche simple réponse à un message auditif) entre 6 et 13 sec est plus long, que les hommes sont plus lents avec un intervalle de 6 s et les femmes avec un intervalle de 13 s. Ainsi il trouve comme **Botwinick, Brinley et Birren's** (1957) que la vitesse de la réponse varie en fonction de l'âge et du délai entre chaque présentation de stimulus.

D'après ce qui vient d'être passé en revue ci-dessus, on peut faire l'hypothèse qu'en situation de conduite, tâche complexe et multi-attentionnelle, les dégradations pourraient être encore plus importantes d'où la nécessité d'envoyer des messages d'aides simples et non ambigus.

Ainsi, de nombreux systèmes sont basés sur le principe de la préalerte. Selon **Olson et Sivak**, les conducteurs préalablement informés freinent plus rapidement ("Temps de perception - réponse sur des dangers imprévus de la route, dans Human Factors", 1986).

Botwinick, Brinley et Birren (1957) ont mis en évidence l'existence d'une "période réfractaire" chez les personnes âgées. Lorsque l'intervalle entre le stimulus préparatoire et le stimulus déclencheur est de 1 sec, les temps de réaction sont plus long que lorsqu'il est égale à 2 à 6 sec.

Selon **Pauzie** dans "vieillesse et capacités fonctionnelles", (1989 c), *les déficiences auditives rencontrées chez les personnes âgées sont d'origine diverses ; 20 % seraient de type presbycusie. Cette pathologie spécifique consiste en une perte de fouie dans la zone des hautes fréquences. Cette évolution s'avère sélective puisque les basses fréquences continuent en général d'être bien perçues à moins d'affections particulières (Gilad & Gloring, 1979).*

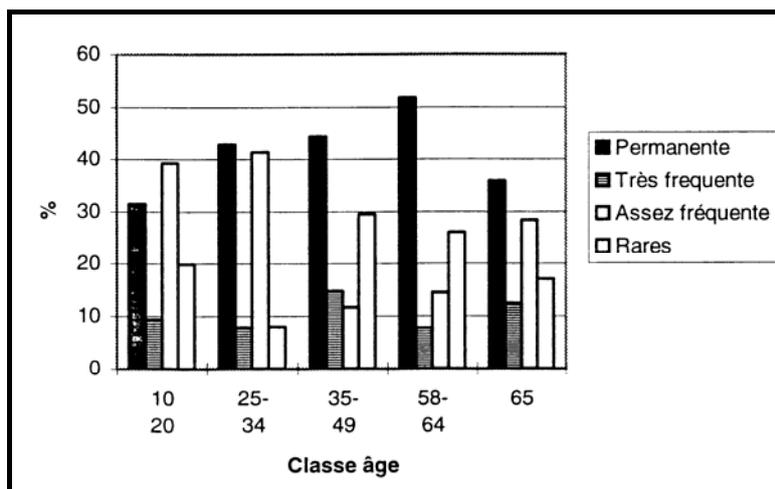
La perte des sons aiguës peut nuire à la perception de la parole ; les consonnes comportant des sons aiguës sont mal perçues, donnant l'illusion que les mots sont marmonnés. Le port des prothèses auditives permet de compenser certaines déficiences, mais rend très souvent des sons qualifiés par les utilisateurs d'irréels, et même par certains de sonorités métalliques. L'intelligibilité de la parole, déjà amoindrie dans un environnement silencieux, présente une dégradation encore plus prononcée en présence de bruits de fond et lorsque le signal est altéré (Hayes & Jeger, 1979 ; Leshowitz & Lindstrom, 1979).

Selon **Pauzie & Al** (1992 c), 764 conducteurs ont effectué une auto évaluation de leur capacité auditive. Les résultats sont relatés ci-dessous sous forme de tableau n° 2.

Tableau n° 2
Fréquences de difficultés d'audition sur la population des
conducteurs en fonction de liage (%) N = 764

Classe âge	Permanente	Très fréquente	Assez fréquente	Rares
10-20	31,4	9,3	39,3	19,9
25-34	42,8	7,8	41,4	8
35-49	44,3	14,7	11,6	29,4
58-64	51,8	7,7	14,5	26
65	35,8	12,4	28,4	17,1

Histogramme n° 1
Fréquences de difficultés d'audition sur la population des conducteurs en
fonction de liage (N = 764)



Dans ce tableau n°2, on note que de nombreux conducteurs estiment avoir des difficultés auditives. le signal auditif envoyé comme signal d'alerte doit par conséquent apporter une aide à la perception et prendre en compte les difficultés rencontrées par les conducteurs.

La perception du signal acoustique peut être améliorée de plusieurs manières suivant le type de handicap du conducteur âgé. Soit en augmentant le rapport signal / bruit, soit en diminuant le bruit de fond du véhicule, soit en mettant au point un système flexible permettant d'augmenter le niveau sonore à la demande du conducteur.

Enfin, on peut également augmenter la richesse bifréquentielle des messages de façon à ne pas sombrer dans les fréquences inaudibles. Ces conseils ont été pris en compte lors de l'élaboration du message auditif. Le message auditif émis est un son bifréquentiel (1 250 Hz et 500 Hz) et le rapport signal / bruit est égal à 10 dB. Le choix du signal utilisé est relaté dans ce rapport.

I.2.4 Typologies des trajets, caractéristiques médicales, psychologiques et comportementales des conducteurs âgés

Des enquêtes ont permis de cerner les besoins et habitudes des conducteurs âgés, ainsi que les difficultés qu'ils rencontrent (**Carp**, 1971) ; **Pauzié & Al**, 1991, Actes INRETS n° 30). *Les problèmes énoncés par les conducteurs vieillissants incluent des problèmes visuels dans 82 % des cas (presbytie, astigmatisme), le ralentissement des réponses motrices pour 75 %, ankylose et invalidité pour 62 % et difficultés pour s'adapter à de nouvelles situations pour 55 % (Carp, 1971). Une proportion statistiquement significative des personnes interrogées a également mentionné une diminution des capacités attentionnelles et un ralentissement des fonctions cognitives.* En ce qui concerne les capacités visuelles, ce sont essentiellement des affectations de type "myopie" et "presbytie" qui sont le plus souvent rencontrées. 20 % de l'échantillon (1 033 sujets) déclare souffrir de myopie, 20 % de presbytie, 10 % d'astigmatisme et 5 % citent d'autres troubles non précisés. 62,3 % de la population (216) dont la classe d'âge est de 50-64 ans disent avoir des problèmes visuels en vision de près et 29,8 % en vision de loin. 64,8 % de la classe d'âge plus de 65 ans (185) rencontrent des problèmes en vision de près et 32,3 % en vision de loin. *Les changements dans la nature des voyages effectués par la population devenue non active correspondent à des déplacements pendant la journée et en dehors des heures de pointe : 1,6 % des conducteurs de plus de 65 ans déclarent être quotidiennement confrontés à des embouteillages, un pourcentage faible en comparaison avec la situation des 25-34 ans (15,8 %) et des 35-49 ans (15,9 %).* (**Pauzié & Al**, 1991) Cette enquête montre également que de manière générale les trajets sont plus courts, en durée et en distance, et moins fréquents.

Selon **Dejeammes**, dans Actes INRETS n° 35, 1993, les recherches sur les caractéristiques médicales, psychologiques et comportementales des conducteurs âgés amènent à insister sur deux aspects, en plus des circonstances de conduite que les personnes âgées cherchent à éviter si les conducteurs arrêtent de conduire leur véhicule pour de multiples raisons, il est clair que leur conscience des difficultés qu'ils rencontrent dans le trafic et de leur état de santé (en particulier l'acuité visuelle) revêt une grande importance dans leur décision d'arrêter de conduire. Le vieillissement affecte de façon claire certaines capacités requises pour accomplir en toute sécurité la tâche de conduite. En particulier il a été démontré que l'acuité visuelle dynamique (une perte graduelle de ce qui est appelé le champ utile de vision) a une influence sur les accidents. De plus, les réactions en situation partagée tendent à se dégrader avec l'âge. Ceci montre l'intérêt direct de l'introduction de systèmes de guidage et d'alarme dans le véhicule. Par ailleurs, il apparaît que le vieillissement réduit la capacité à juger avec exactitude la vitesse des autres véhicules et affecte la compréhension de l'information nouvelle. On sait également que la diminution des capacités visuelles et perceptivo-cognitives n'affecte pas seulement les personnes âgées. Elle peut concerner aussi de jeunes conducteurs. Il existe un phénomène graduel de dégradation des capacités et un effet cumulatif.

I.2.5 Mémoire humaine et vieillissement

Avant de voir qu'elle est l'incidence du vieillissement sur la mémoire humaine, nous allons rappeler brièvement ce qu'est la mémoire humaine.

La mémoire est une structure. L'enregistrement, c'est le processus ou les étapes de traitement par lesquelles l'information est emmagasinée dans cette structure que l'on appelle mémoire sensorielle. La **mémoire sensorielle** c'est ce qui nous permet de maintenir pendant une période de temps très brève (200-300 ms), les stimulations qui atteignent nos sens. La **mémoire à court terme (MCT)** désigne un ensemble de processus qui permettent de maintenir active l'information nécessaire à l'exécution des activités cognitives courantes. C'est dans la **mémoire à long terme (MLT)** que sont emmagasinés les faits, les connaissances et les habiletés que nous avons accumulés au fil des années. Dans la technique de rappel libre, la représentation graphique de la relation entre la fréquence de rappel correct d'un item et sa position dans la liste est appelée courbe de position sérielle. Le **rappel** est supérieur pour les items apparaissant au début des listes, **effet de primauté**, et à la fin, **effet de récence**. L'effet de primauté serait dû à une **consolidation** des items du début de liste dans la mémoire à long terme et l'effet de récence correspondrait à la présence des derniers items dans la mémoire à court terme. La MCT est souvent définie comme une **mémoire de travail**. Elle est appelée modulaire, car la MCT est alors conçue comme un ensemble de processus ou de modules en interaction. Dans la procédure de rappel sériel immédiat le sujet doit effectuer un rappel d'une série d'items dans l'ordre de présentation. Le nombre d'items contenus dans la série la plus longue que le sujet peut réciter correctement est appelé **empan mnésique**. (+ ou -7 selon **Miller**).

Il existe plusieurs causes de l'incapacité à se rappeler. L'**oubli** peut se produire par interférence et estompage. Lorsque la capacité de la mémoire à court terme est atteinte, les nouveaux items éliminent les items déjà en mémoire : c'est l'**interférence rétroactive**. L'oubli par estompage est fonction du délai temporel qui s'écoule entre la présentation d'un item et son rappel. L'**interférence proactive** se produit quand des items présentés ultérieurement affectent le rappel d'un nouvel item. L'oubli est principalement dû à l'inefficacité des indices de **récupération** qui ne permettent pas d'avoir accès à une information disponible.

Le processus qui transforme un événement ou un fait en une trace mnésique se nomme l'**encodage**. La récupération est le processus par lequel l'information emmagasinée en MLT est réactivée en MCT. Elle permet l'utilisation de l'information en mémoire pour soutenir l'action qui est en cours et se fait toujours en relation avec un indice de récupération qui spécifie l'information recherchée. Le processus de récupération comporte trois phases. Premièrement, un plan de récupération comprenant la nature de l'item cible, les indices de récupération et les critères d'évaluation. Deuxièmement, l'**activation** en MCT d'un contenu de la MLT correspondant à l'indice de récupération. Et troisièmement, l'**évaluation** de ce contenu selon les critères du plan pour déterminer la réponse et décider de poursuivre ou non la récupération.

Après ce bref rappel, nous sommes posé la question de l'incidence du vieillissement sur la mémoire humaine. En fait, la mémoire devient plus fragile avec l'âge (pertes de mémoire, oublis) et présente des défaillances lors de rappel d'informations mémorisées. Les personnes âgées font appel plus systématiquement à la mémoire à long terme, la mémoire à court terme étant la plus touchée par les processus de vieillissement. L'affectation de la mémoire n'est pas sans modifier les processus de prise de décision, tant au niveau de la compréhension que de la vitesse de traitement de l'information, notamment sous forte contrainte temporelle.

Selon **Bolle, F** et **B. Deweer** (1991), "la plupart des études, transversales ou longitudinales, tendent à montrer un déclin des capacités cognitives avec l'âge". De nombreuses études suggèrent qu'une des sources importantes des difficultés liées à l'âge est un problème d'acquisition en ce qui concerne la mémorisation. **Craik** (1982) a introduit le concept de niveau de traitement, selon lequel plus un stimulus est traité en profondeur, mieux il est mémorisé. Des exemples de traitement en profondeur sont les stratégies d'enrichissement actif de la mémoire par les images, des phrases ou d'autres moyens associatifs. Cet auteur a montré que les sujets âgés n'encodent pas nécessairement les caractéristiques sémantiques et contextuelles avec la même efficacité, d'où ces troubles de l'acquisition. Par contre, en ce qui concerne le maintien et le stockage de l'information, il trouve moins de différence avec l'âge. **Salthouse** (1982) a montré que lorsque les performances des jeunes et des âgés étaient évaluées à un même niveau d'encodage initial, les deux groupes retenaient une quantité comparable d'information. Mais ce sont ces troubles d'évocation dont on parle surtout comme la source la plus vraisemblable de troubles de mémoire des personnes âgées. Il est bien établi, par exemple, que le temps requis pour rechercher l'information en mémoire à court terme devient plus important avec l'âge (**Anders**, 1972) Dans de nombreuses situations d'apprentissage verbal ou non, la performance est nettement plus sensible aux effets de l'âge si elle est estimée en rappel libre que si elle est mesurée en reconnaissance, surtout si la qualité de l'encodage initial n'a pas été orienté. (**Craik**, 1977). En conclusion cet auteur confirme bien sûr le fait que le vieillissement normal tend à s'accompagner d'une détérioration de certaines fonctions cognitives, en particulier de la mémoire à long terme.

I.3 L'organisation des traitements

Nous pouvons considérer que l'activité sensori-motrice mis en oeuvre lors d'une activité de freinage à un message d'alerte est un moment hybride entre un comportement fondé sur des règles et des habiletés motrices. Ces deux types de comportements sont également relevés pour une action de conduite de véhicule (ou maintien de trajectoire sur simulateur) ainsi que lors d'une conversation entre deux personnes, ceci quand aucun incident ou problème ne survient.

Nous reprendrons le modèle de **Rasmussen** qui décompose l'activité en trois types de comportements fondés sur des habiletés, sur des règles et sur des résolutions de problèmes. Seuls les deux premiers types de comportements sont impliqués dans cette étude.

*"Le comportement fondé sur des habiletés caractérise la performance sensori-motrice des sujets lorsque des actions sont effectuées sans contrôle conscient, en utilisant des patterns comportementaux automatisés et hautement intégrés. Le comportement fondé sur des habiletés peut permettre d'accomplir des tâches complexes. Il en est ainsi pour la conduite automobile qui est un comportement automatique, au moins tant que ne se présente aucune situation incidente".(Cours CNAM **Falzon**, "Représentations et raisonnements finalisés", 1994, p 37).*

Le comportement fondé sur des habiletés est téléologique, c'est à dire qu'il est régulé par les données prélevées sur l'environnement. Par exemple, le conducteur prélève des informations sur la distance le séparant du véhicule qui le précède, sur l'état de la route.

La performance est fondée sur des boucles de contrôle feed-forward qui intègrent les changements prévisibles de l'environnement comme par exemple la traversée hypothétique d'un piéton ou l'arrivée d'un obstacle sur la route.

"Le comportement fondé sur des règles est caractérisé par l'utilisation de règles ou de procédures mémorisées, soit dérivées de l'expérience de conduite, soit apprises au cours de l'apprentissage de la conduite. Ce comportement n'est utilisable que si la situation présente un aspect connu".

Le comportement fondé sur des règles (à la différence des habiletés) est verbalisable par les sujets : les sujets sont généralement capables d'explicitier les règles qu'ils utilisent. Par exemple, si je suis à telle distance du véhicule qui me précède alors je commence à freiner.

Le contrôle de l'activité est effectué par une procédure (elle même composé de routines). Par exemple, un obstacle se trouve à x distance de mon véhicule, je dois freiner, pour freiner je déplace mon pied de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein, j'applique tel niveau d'enfoncement... Le contrôle est théologique : les règles se modifient sous l'effet des cas rencontrés, de l'expérience. Par exemple, je ne freine pas de la même façon en fonction des conditions météorologiques, j'anticipe l'obstacle différemment en fonction de mon expérience de conduite...

II. OBJECTIF A COURT ET LONG TERME

Le but de cette recherche vise à la création d'une base de données des temps de réactions en situation d'urgence sur une population de 120 conducteurs dont la classe d'âge varie de 20 à 80 ans. L'effet du partage de l'attention est pris en compte. Nous enregistrons les temps de réponses en attention focalisée (tâche simple) et en attention partagée (tâche double et triple).

A plus long terme, cette base de données pourra servir de référence à l'élaboration d'un système anticollision. Ce système anticollision devrait venir en aide au conducteur en le prévenant suffisamment tôt pour qu'il puisse effectuer une manœuvre adéquate et ainsi éviter la collision. Au préalable, il est donc nécessaire d'évaluer ces temps de réponses à un signal auditif en situation d'urgence et en attention partagée. Néanmoins, pour l'instant, nous nous sommes intéressé uniquement à l'enregistrement des temps de réactions purs sans prendre en compte le temps de freinage et la manœuvre tentée par le conducteur.

III. METHODOLOGIE PROPOSEE

Nous souhaitons mesurer des temps de réponses relatifs à un signal d'alarme auditif dans un véhicule simulateur.

1^{ère} phase : le sujet effectue une tâche de réponse au message d'alerte en situation focalisée (tâche simple) et on enregistre les temps de réponse sur deux essais consécutifs.

2^{ème} phase : enregistrement des temps de réponses des sujets en attention partagée sur 2 tâches : maintien de la trajectoire et réponse au message d'alerte sur deux essais consécutifs.

Attente des résultats : les données enregistrées nous permettront d'obtenir le temps physiologique nécessaire à l'appui pédale en situation d'urgence en simple et double tâche.

Plus précisément, nous étudierons les variations des temps de réponse en fonction de la ou des complexités des tâches imposées en fonction des caractéristiques individuelles des conducteurs (niveau de conduite, sexe, âge).

La méthode retenue consiste donc à mettre le sujet en situation de simple, double ou triple tâche :

- * la **tâche principale** vise au maintien de la trajectoire. Le conducteur se trouve dans un habitacle de Renault 21 sur simulateur de conduite. Il doit maintenir son véhicule sur la voie simulée d'une route nationale. Le circuit s'avère relativement simple et plat. Le trafic généré est faible.
- * la **tâche secondaire** vise au traitement du signal par appui sur la pédale de frein : tâche de réponse au message d'alerte.
- * la **tâche triple** consiste en une conversation avec le conducteur.

Notre sujet est installé dans une voiture simulateur de conduite et se trouve en situation de conduite en attention partagée lors de la tâche secondaire. La description des tâches est donnée ci-dessous.

Une **situation d'urgence** sera simulée sur l'écran. Un obstacle (voiture située sur la route) sera placé sur le circuit, obligeant le conducteur à freiner le plus vite possible dès l'apparition du message auditif pour éviter la collision. Cet obstacle sera non visible du conducteur avant l'apparition du message. Le temps de réponse enregistré correspondra au traitement du message et non à un comportement anticipé à la vue d'un obstacle. Il s'agit donc de situation d'urgence et non d'anticipation. Toutefois, la durée du circuit étant de courte durée, le sujet s'attend à l'arrivée d'un obstacle. Son attention est soutenue et il est impératif de considérer que les temps de réaction enregistrés correspondent à des **temps de réaction en préalerte**.

En effet, lors du premier essai le conducteur perçoit et identifie et interprète le signal auditif pour la première fois. Il active alors le programme moteur (action de freinage) correspondant au message d'alerte. Lors du second essai, le programme moteur a par conséquent déjà été activé et mémorisé.

Le mouvement est alors plus rapide. D'autre part, le conducteur a déjà reconnu et identifié le signal lors du premier essai ce qui implique une reconnaissance également plus rapide.

III.1 Description des tâches

Le sujet est placé dans un simulateur de conduite avec une pédale de frein reliée à un capteur permettant d'enregistrer les temps de réponse moteur au pied. Un micro ordinateur émettra un signal auditif. La consigne est de répondre le plus rapidement possible dès l'apparition du message par un appui sur la pédale de frein :

"Vous êtes assis dans le véhicule, votre pied droit posé sur la pédale d'accélérateur comme si vous conduisiez normalement (situation de confort). Un message auditif (un son, une sirène, un Klaxon) vous sera envoyé. A son apparition, appuyez à fond et le plus rapidement possible sur la pédale de frein puis repositionnez votre pied normalement sur la pédale d'accélérateur".

Nous enregistrerons ainsi les temps de réponse de freinage des sujets sur la simple et double tâche et noterons les différences liées aux caractéristiques individuelles et plus particulièrement l'âge.

Tâche de maintien de la trajectoire :

Le sujet est placé dans un simulateur de conduite de voiture statique (habitacle de Renault 21) où il devra effectuer une tâche de conduite simple appelée tâche de maintien de trajectoire.

III.2 Description du matériel

III.2.1 Description du simulateur de conduite

L'expérimentation sera réalisée sur le simulateur de conduite de l'**INRETS - LESCO (Durand, 1994)**. Le cœur est une station **SILICON GRAPHICS IRIS 4D320 REALITY Engine**. Le logiciel utilisé est **SCANeR (Kemeny, 1991)** de Renault. La projection des images est assurée par un Barco Graphics 1200. Les images sont générées à une vitesse moyenne de 20 Hz L'écran sur lequel sont projetées les images synthétiques est plat et de 6 m sur 4 m, situé à 3 m en avant du véhicule. Il n'y a pas génération de sollicitations dynamiques dans le véhicule. L'expérimentation sera réalisée sur le simulateur de conduite de l'**INRETS - LESCO**.

Le simulateur de conduite est composé :

- * d'une station informatique de travail **SILICON GRAPHICS IRIS 4D320 REALITY engine de l'INRETS - LESCO**, qui permet d'effectuer la synthèse des images. Cette station joue un rôle essentiel. Elle calcule en temps réel les images routières et gère la dynamique du véhicule.
- * d'une Renault 21, les interfaces sont le volant, les pédales de frein et d'accélérateur et le tableau de bord (compteur de vitesse). La boîte à vitesse est automatique. Les pédales sont munies de capteurs permettant d'enregistrer les appuis pédales.
- * d'un projecteur vidéo BARCO qui permet la projection des scènes routières sur un écran géant placé face au véhicule. La scène routière est décrite dans un espace en 3 dimensions.

Le logiciel actuel de simulation **DRIVE** permet principalement :

- * de créer une scène routière (route, accotements, terrains avoisinants, objets décoratifs (maison, château...),
- * de créer des ambiances : jour, nuit, brouillard,
- * d'enregistrer et de rejouer un parcours d'enregistrer des variables : vitesse, état des commandes, déviation de trajectoire...,
- * de boucler un parcours routier,
- * de se déplacer à l'intérieur de la scène routière.

III.2.2 Véhicule d'essai

Le véhicule interfacé avec la station est une RENAULT 21, les interfaces sont le volant, les pédales de frein et d'accélérateur et le tableau de bord (compteur de vitesse). La boîte à vitesse est automatique. Les pédales sont munies de capteurs permettant d'enregistrer les courses pédales. La force de la pédale d'accélérateur est de 13 N. Les affichages ont été développés par l'**INRETS** sous Windows en langage Pascal ; ordinateur personnel avec carte Genoa qui traduit le signal de VGA en signal vidéo composite. La liaison station/ordinateur personnel s'effectue par l'intermédiaire d'une RS 232. Le compteur de vitesse kilométrique est commandé par RS 232 sur ordinateur personnel avec une carte digitale analogique. Le logiciel a été développé sous Pascal.

III.2.3 Description du scénario sur simulateur de conduite INRETS - LESCO

Le circuit est d'une longueur de 8 km. Il est composé de 2 lignes droites de 3 km et de courbes faciles à négocier. Un obstacle ou incident est placé sur le circuit : l'incident défini est une voiture qui traverse soudainement la chaussée. Le message apparaît, à chaque fois, avant que l'obstacle soit visible, afin que les temps de réponse au freinage enregistré soit bien un temps de réponse au message et non à l'obstacle. L'envoi des messages s'effectue toujours en ligne droite.

L'emplacement des messages sur le parcours est aléatoire, afin que les messages ne soient pas positionnés à intervalles réguliers. Les messages sont positionnés sur chaque ligne droite à intervalles non réguliers. Deux leurres (voiture arrêtée sur la droite de la chaussée) ont été placés sur le parcours afin que le sujet n'assimile pas la vision du véhicule sur le bas côté à l'apparition prochaine du message. Ces leurres sont entre le 1^{er} et le second incident, à 1 650 mètres, et entre le deuxième et le troisième incident à 4 325 mètres. D'après nos premiers résultats, les sujets visualisent bien les leurres et ne freinent pas ce qui signifie bien que la réponse est liée au message auditif et non à l'anticipation de l'obstacle. Néanmoins, ils s'attendent, pour certains, à son apparition. Dans ce cas là, nos sujets sont alors en situation de préalerte.

III.3 Détermination du signal acoustique et élaboration des messages d'aide à la conduite

La gestion de l'envoi des messages sonores se fera par l'intermédiaire du logiciel DISPLAY DEMONSTRATOR (DD), élaboré par l'école polytechnique de MADRID. Le PC 5.75 GATEWAY PENTIUM, muni d'une carte sound blaster 16 bits et d'une carte vidéo illuminator qui permet de stocker les messages auditifs. Les différentes réactions des sujets action sur la pédale de frein, d'accélérateur, vitesse du véhicule sont enregistrées directement, avec un échantillonnage à 100 Hz sur une carte d'acquisition. Ce logiciel est interfacé avec le logiciel de conduite. Le topage début de signal électrique sera récupéré à sa sortie dans le véhicule.

III.3.1 Choix du signal auditif : définition acoustique de l'alerte auditive

Les contraintes temporelles étant relativement fortes, nous avons choisi de ne présenter qu'un mode de présentation de signal à savoir un message auditif.

Dans la norme **AFNOR X 35 101**, "*le signal est défini comme un état ou un changement d'état d'un élément du système de travail, perceptible par le conducteur dans le cadre d'un processus en cours et auquel est associé une information.*

Le signal auditif est constitué par des sons purs ou complexes, des bruits ou des messages parlés qui peuvent varier par leur intensité, leur durée, leur hauteur, leur timbre, la durée des intervalles entre 2 émissions sonores".

Il est communément admis que la détection des signaux doit tenir compte des phénomènes de masques auditifs. Ils n'ont pas d'application pour des signaux indicateurs. Les conditions d'identification et d'interprétation des signaux auditifs dépendront des caractéristiques acoustiques du signal (fréquence, à deux tons,...).

Pour une bonne **détection** la proximité doit être suffisante avec absence de son ou de bruit masquant, émission modulée et intermittente. Voir l'intérêt selon le cas, d'émettre seulement quelques répétitions du signal ou de répéter le signal jusqu'à l'intervention du conducteur.

Pour de bonnes **conditions d'identification**, il faut utiliser de préférence un signal à 2 tons ou plus émis successivement et répétés, plutôt qu'un signal à un seul ton, celui-ci étant difficile à identifier.

En ce qui concerne les **conditions d'interprétation** une connaissance précise du système et des instructions claires doivent permettre à l'individu de mettre en oeuvre les comportements requis par l'apparition du signal : "Dès l'apparition du signal, vous devez freiner afin de ne pas entrer en collision avec un autre véhicule".

III.3.2 Présentation du signal sonore émis

Cette alerte auditive doit avoir les propriétés suivantes :

- * être nettement perceptible,
- * ne pas être agressive : ne pas être douloureuse, ne pas être désagréable, ne pas provoquer de réactions motrices désordonnées (type sursaut),

* être immédiatement identifiée et utilisable.

1. Perception

- *choix de la composition fréquentielle : échapper aux nombreuses surdités traumatiques, centrées autour de 4 000 Hz,*
- *échapper à la presbyacousie,*
- *échapper au masquage provoqué par le niveau sonore du véhicule, essentiellement en basses fréquences (entre 100 et 500 Hz),*
- *avoir un rapport signal sur bruit compris entre + 5 et + 10 Dba,*
- *utiliser la zone fréquentielle la plus audible, soit autour de 1 000 Hz.*

2. Non agression

- *niveau inférieur à 90 Db,.*
- *pas de bruits impulsionnels ou de fréquences pures.*

3. Identification

- *front de montée net et progressif,*
- *distinct des signaux existants dans le véhicule et ayant d'autres significations (ex : rappel auditif des clignotants....).*

III.3.3 Précaution méthodologique : test audiométrique

En fonction du vieillissement des individus et en dehors de toute exposition au bruit on a naturellement une augmentation du seuil auditif liée à l'âge ou presbyacousie. (Surdité de transmission due à la rigidification de la chaîne des osselets et une diminution de l'élasticité du tympan). Il peut apparaître une destruction des cellules nerveuses. Dans tous les cas la perte couvre l'ensemble des fréquences audibles. La surdité liée à l'exercice d'une profession ou socioacousie est très différente. Il y a destruction des cellules de l'organe de corti, il s'agit d'une surdité de perception qui n'est pas appareillable. Son mode d'installation est très particulier.

On observe tout d'abord sur l'audiogramme un trou à 4 000 Hz qui ne perturbe pas les communications orales. Puis s'installe une autre phase qui traduit une perte de sensibilités aux sons aigus avec une première atteinte des fréquences conversationnelles. La phase suivante conduit à une perturbation marquée des conversations avec une forte sensibilité au bruit de fond et l'apparition d'acouphènes. Mais en 1953, **Rosée** constate cette décroissance chez les adultes par rapport aux enfants, et, en 1960, **Gavini** confirme ces données, en particulier pour les sons aigus : 8 000, 12 000, 14 000 Hz (auteurs cités par **Scherrer** dans "Précis de physiologie").

Dans "handbook of human factors", **Salvendy. G** (1987) montre ce qu'est la perte auditive en fonction de l'âge dans les fréquences aiguës (6 000 Hz, 4 000 Hz).

III.3.4 Intelligibilité de messages verbaux

Elle a été déterminée par **Aniasson** par rapport à une population témoin d'audition normale dans un bruit routier de 45 Db(A) en leq, le pourcentage d'intelligibilité est de 92 % pour des personnes normales, 70 % pour celle atteinte de presbyacousie, et 65 ou 87 % (suivant la gravité du handicap) pour celles atteintes de surdité professionnelle.

Dans un bruit routier de 55 dB(A), le pourcentage d'intelligibilité est de 82 % pour les personnes ayant une audition normale, il tombe à 45 % pour les personnes atteintes de presbyacousie ou de surdité professionnelle grave. On constate donc une forte majoration du handicap de ces mal entendants en présence de bruits routiers.

III.3.5 Définition du signal acoustique utilisé

Face à ces données, nous avons choisi un son à 2 bandes de fréquences, non pures, l'une centrée autour de 800 Hz, l'autre centrée autour de 1 200 Hz et un niveau sonore de 80 Dba soit 10 Dba au dessus du niveau sonore d'un véhicule estimé à 70 Dba.

Il nous semble nécessaire également d'effectuer un test audiométrique de façon à ce que nous nous assurions que le signal auditif d'alerte soit perceptible par toutes les classes d'âge. Les différences de temps de réaction doivent s'expliquer en effet uniquement par des différences au niveau des réponses sensori-motrices ou centrales.

Il s'agit d'un son bifréquentielle et d'un bruit stable. L'enregistrement a été effectué sur 250 ms à une vitesse véhicule de 90 km/h. L'émission du signal est effectuée à 5 cm de l'oreille droite du conducteur.

La somme des tiers d'octave en DBLin du bruit moteur est égale à 68,5 ; celle du moteur plus signal sonore est de 71,8 DBLin. Le rapport signal sur bruit (valeur corrigée) en DBLin est équivalent à 3,3 DBLin. A la fréquence 1 250 le bruit moteur plus signal est égal à 62,9 DBLin, à 500 il est de 65 DBLin, à 630 il est de 61,3 DBLin.

La somme des tiers d'octave en DB(A) du bruit moteur est égale à 57,8 ; celle du moteur plus signal sonore est de 67,4 DB(A). Le rapport signal sur bruit (valeur corrigée) en DB(A) est équivalent à 9,6 DB(A).

A la fréquence 1 250 le bruit moteur plus signal est égal à 63,5 DB(A), à 500 il est de 61,8 DB(A), à 630 il est de 59,4 DB(A). Les spectres du bruit moteur plus signal ainsi que les différents niveaux en DBLin et DB(A) sont donnés en annexe.

III.3.6 Matériel INRETS - LESCO utilisé lors du test audiométrique

Les audiogrammes ont été effectués sur AUDIOSCAN. Les fréquences balayées vont de 250 Hz à 8 000 Hz Les sons sont pulsés. La configuration 2 a été choisie soit un balayage par pas de 5 DB. La courbe pointillée flèche représente la courbe moyenne d'audition en fonction de l'âge des sujets.(cf. audiogramme en annexe). Un audiogramme aussi poussé ne s'avérerait pas nécessaire, mais il nous permet de visualiser sur l'audiogramme si le son bifréquentiel émis dans le véhicule est bien reçu par le conducteur (trice).

III.4 Plan d'expérimentation

Variables explicatives

- * la complexité du partage de l'attention (une tâche, 2 tâches, 3 tâches),
 - * les caractéristiques individuelles : sexe, âge, niveau de conduite.
- a. Explication du temps de réponse (TR) des conducteurs (en millisecondes), en situation d'urgence, en situation d'attention partagée (double tâche et triple tâche) ou non (simple tâche) sur deux essais.
 - b. Explication des temps de réponse en fonction des caractéristiques individuelles des sujets âge, sexe, niveau de conduite.

Variables expliquées

- * les temps de réponse au freinage en simple et double tâche
 - simple tâche : tâche de réponse au message d'alerte,
 - double tâche : simple tâche + maintien de la trajectoire,
 - triple tâche : simple tâche + maintien de la trajectoire + conversation.

Description de la tâche triple :

Arrivé à un point de repère identique pour tous les sujets avant l'émission du signal acoustique, l'expérimentatrice avait pour tâche de converser avec le sujet. Le sujet de conversation a toujours été identique à savoir "où et qu'est ce que vous avez fait pendant vos vacances". La conversation ne masquait pas le signal acoustique et restait très audible. Néanmoins, on a remarqué qu'au moment du freinage, soit le sujet répondait à la question, soit l'expérimentateur continuait à lui parler. La tâche ajoutée n'est par conséquent pas tout à fait similaire. En effet, si l'expérimentatrice parle au moment de l'envoi du signal, cet état de fait privilégie un freinage de façon automatique pour le conducteur. Par contre, si le conducteur répond au moment de l'émission du message auditif, ceci nécessite plus d'attention requise pour le conducteur et par conséquent il a des chances de réagir moins vite. Il existe par conséquent une nuance dans la charge induite pour le conducteur.

Variables contrôlées

- * effet d'ordre en simple / double tâche (attention partagée) : les sujets commenceront alternativement, dans chaque catégorie d'âge et de sexe soit par la tâche simple soit par la tâche double. L'ordre balancé des présentations de situation est donné pour chaque sujets dans le tableau relatif aux différentes typologies de conducteurs.

Plan d'expérience

L'expérimentation comprend 3 parties :

- * partie 1 : **en tâche simple, enregistrement des temps de réponse sur la pédale de frein au signal d'urgence (attention focalisée),**
- * partie 2 : **en double tâche, tâche de maintien de trajectoire sur simulateur et tâche de réponse aux messages d'alerte (attention partagée),**

- * partie 3 : en **triple tâche**, tâche maintien de trajectoire sur simulateur et tâche de réponse aux messages d'alerte (attention partagée) et tâche de conversation.

Les deux parties seront donc balancées alternativement sur l'ensemble des sujets, ceci explique que nous ayons plusieurs plans expérimentaux : une pour chaque tâche, la moitié des sujets commençant soit par des tâches en attention partagée soit en attention focalisée.

III.4.1 Déroulement de l'expérimentation

1. Présentation de l'expérimentation :

La première consigne était la suivante :

"Bonjour, vous allez passer une expérimentation sur simulateur de conduite. Vous pouvez utiliser les pédales de frein et d'accélérateur ainsi que le compteur de vitesse. La passation des vitesses se fait automatiquement. L'indicateur de vitesse fonctionne. Nous travaillons sur les systèmes anticollisions, qui sont des systèmes qui préviennent le conducteur d'un éventuel obstacle, non visible par le conducteur".

2. Passation du questionnaire d'identification : 5 mins.

3. Test audiométrique : 10 mins.

4. Apprentissage de la conduite sur simulateur sur un parcours comportant des courbes compliquées. On stoppe cet apprentissage lorsqu'on estime que le conducteur maîtrise cette tâche de conduite complexe, en fonction de la prise des courbes et de la vitesse du véhicule. Puis on envoie quelques messages pour y familiariser le sujet. On peut estimer que ce temps d'apprentissage est de 10 à 15 mins.

5. Passation de la 1^{ère} épreuve : enregistrement des temps de réponse en attention focalisée réponse simple sur la pédale, tâche unique.

Consigne : **"Un message d'alerte va vous être envoyé. Ce message est un signal sonore qui vous prévient de l'arrivée imminente d'un obstacle sur votre trajectoire. Vous êtes assis dans le véhicule, votre pied droit posé sur la pédale d'accélérateur comme si vous conduisiez normalement sur autoroute. Un message auditif vous sera envoyé. A son apparition, appuyez à fond et le plus rapidement possible sur la pédale de frein".** (Afin que les sujets comprennent bien la consigne, l'expérimentatrice montre à chaque fois le geste à effectuer).

6. Pause de 5 mins.

7. Passage de la seconde épreuve : enregistrement des temps de réponse en attention partagée : réponse sur la pédale et maintien de trajectoire. Le conducteur doit maintenir son véhicule sur une voie nationale simulée.

Ordre 1 : TS (tâche simple) puis TD (tâche double).

Ordre 2 : TD (tâche double) puis TS (tâche simple). L'effet d'ordre sera toujours respecté, néanmoins, pour des raisons techniques la tâche triple suivra toujours la tâche double.

Consigne : "Un message d'alerte va vous être envoyé. Ce message est un signal sonore qui vous prévient de l'arrivée imminente d'un obstacle sur votre trajectoire. A son apparition, vous freinez, à fond le plus rapidement possible, en essayant de garder le contrôle de votre véhicule puis vous reprenez votre route normalement".

III.4.2 Description de l'échantillon de référence

Les conducteurs ayant participé aux essais sont choisis en fonction de 2 critères principaux l'âge et le sexe.

Ils sont répartis en 6 classes d'âge (comprenant respectivement 50 % d'homme et 50 % femme) soit 10 hommes et 10 femmes de la classe d'âge 20-30 ans, 30-40 ans, 40-50 ans, 50-60 ans, 60-70 ans, 70-80 ans. Pour des raisons des délais temporels et de "non résistance au simulateur", seuls 10 personnes de la classe d'âge 70-80 ans ont été pris en compte. Vous trouverez ci-dessous dans le tableau n° 1 le récapitulatif de l'échantillon de référence pris en compte lors de cette expérimentation.

Tableau n° 1
Description de l'échantillon de référence (N = 114)

TS = tâche simple
TD = tâche double
TT = tâche triple

N° sujet	Sexe	Classe âge	Age	Ordre des tâches
22	F	20-30	28	TDTS
19	F	20-30	25	TDTS
24	F	20-30	26	TDTS
30	F	20-30	22	TDTS
41	F	20-30	27	TSTD
9	F	20-30	28	TSTD
13	F	20-30	27	TSTD
8	F	20-30	26	TSTD
18	F	20-30	33	TSTD
4	F	20-30	23	TSTD
6	F	20-30	28	TSTD
12	F	20-30	25	TDTS
27	F	20-30	27	TDTS
106	F	20-30	28	TSTD
15	F	20-30	27	TDTS
5	H	20-30	24	TSTD
17	H	20-30	28	TDTS
20	H	20-30	29	TDTS
21	H	20-30	26	TDTS
26	H	20-30	26	TDTS
49	H	20-30	23	TDTS
54	H	20-30	29	TDSTTT
104	H	20-30	29	TDSTTT
105	H	20-30	28	TDSTTT

N° sujet	Sexe	Classe âge	Age	Ordre des tâches
107	H	20-30	27	TDTSTT
10	F	30-40	30	TSTD
25	F	30-40	30	TDTS
33	F	30-40	30	TSTDTT
34	F	30-40	38	TDTSTT
50	F	30-40	33	TSTDTT
61	F	30-40	34	TDTSTT
64	F	30-40	30	TDTSTT
68	F	30-40	32	TSTDTT
71	F	30-40	32	TDTSTT
85	F	30-40	30	TDTS
1	H	30-40	34	TSTD
3	H	30-40	31	TSTD
14	H	30-40	31	TSTD
16	H	30-40	35	TDTS
52	H	30-40	32	TDTSTT
53	H	30-40	36	TDTSTT
77	H	30-40	32	TSTDTT
81	H	30-40	33	TSTD
82	H	30-40	31	TSTD
108	H	30-40	35	TDTS
2	F	40-50	44	TSTD
11	F	40-50	49	TSTD
37	F	40-50	40	TSTD
51	F	40-50	44	TSTDTT
67	F	40-50	48	TDTSTT
69	F	40-50	41	TDTSTT
86	F	40-50	50	TSTD
89	F	40-50	50	TDTS
103	F	40-50	40	TSTDTT
109	F	40-50	41	TSTDTT
23	H	40-50	41	TDTS
44	H	40-50	46	TSTD
46	H	40-50	46	TSTDTT
55	H	40-50	47	TSTDTT
56	H	40-50	46	TSTDTT
58	H	40-50	48	TSTDTT
59	H	40-50	46	TSTDTT
63	H	40-50	47	TDTSTT
66	H	40-50	48	TDTSTT
90	H	40-50	50	TDTSTT
28	F	50-60	55	TSTDTT
29	F	50-60	55	TSTDTT
57	F	50-60	50	TDTTTS
72	F	50-60	50	TSTDTT

N° sujet	Sexe	Classe âge	Age	Ordre des tâches
78	F	50-60	51	TSTDTT
83	F	50-60	50	TDTS
84	F	50-60	50	TSTD
87	F	50-60	57	TDTS
88	F	50-60	50	TSTD
100	F	50-60	60	TDTSTT
31	H	50-60	59	TSTDTT
38	H	50-60	60	TDTSTT
40	H	50-60	51	TSTDTT
45	H	50-60	56	TSTDTT
62	H	50-60	57	TDTSTT
65	H	50-60	53	TSTDTT
70	H	50-60	56	TSTD
74	H	50-60	50	TSTD
75	H	50-60	50	TSTDTT
76	H	50-60	50	TSTDTT
32	F	60-70	64	TSTDTT
35	F	60-70	69	TDTSTT
42	F	60-70	69	TSTDTT
47	F	60-70	64	TSTD
60	F	60-70	64	TSTDTT
91	F	60-70	69,5	TDTS
95	F	60-70	64	TSTD
99	F	60-70	65	TSTD
101	F	60-70	66	TSTDTT
102	F	60-70	63,5	TDTSTT
39	H	60-70	62	TSTDTT
43	H	60-70	64	TSTDTT
73	H	60-70	65	TDTSTT
79	H	60-70	65	TDTS
92	H	60-70	62	TDTS
93	H	60-70	60	TDTS
94	H	60-70	61	TSTD
98	H	60-70	70	TDTS
114	H	60-70	67	TDTTTS
7	F	70-80	72	TSTD
48	F	70-80	79	TSTDTT
96	F	70-80	62	TSTD
110	F	70-80	80	TDTTTS
113	F	70-80	74	TDMS
36	H	70-80	72	TSTDTT
80	H	70-80	70	TSTD
97	H	70-80	75	TDTS
111	H	70-80	71	TSTDTT
112	H	70-80	74	TSTDTT

METHODE DE RECRUTEMENT

144 sujets de la région Lyonnaise ont été recrutés en fonction de leur appartenance à une classe d'âge déterminée. Le recrutement a été effectué par :

- * appel téléphonique dans l'annuaire au hasard sur BRON (30 Personnes) ; 1 personne sur 10 environ a répondu affirmativement,
- * par connaissance (90 Personnes de Villeurbanne, la Croix rousse, Feyzin, Mezieu, Miribel Jonage,
- * ou à partir de listing INRETS (20).

Tous les sujets étaient bénévoles et un cadeau leur était offert à la fin de l'expérimentation.

CATEGORIE SOCIO PROFESSIONNELLE (CSP)

La CSP des sujets est hétérogène soit :

- * 10 étudiants (bac+5, bac+2, BTS),
- * 20 sujets employé au CETE dans des fonctions diverses (imprimeur, secrétaires, opérateur,...) (BAC+2),
- * 40 retraités (cheminots, fonction publique, employés de banque, employé S.Q,...) (certificat d'études, CAP, BEP, BTS),
- * 4 opérateurs à Elf Aquitaine(BAC, BAC+4),
- * 6 sujets employés au CER SNCF (directeur technique (Bac+8), responsable jeunesse (bac+2), élus du comité d'entreprise (CAP, bac+2, bac)...),
- * 5 demandeurs d'emploi.(Bac+5, Bac, BEP),
- * 2 travailleuses familiales (BEP),
- * 3 fonctionnaires mairie de Villeurbanne...(BEPC, BAC).

DIMENSION FINALE DU FICHER ET DESCRIPTION DES FICHIERS

Sur ces 144 sujets recrutés, seules les données sur 114 sujets ont pu être enregistrées. En effet, 10 personnes, dont 6 appartenant à la classe d'âge 70-80 ans ont ressenties un malaise (nausées, vertige, mal au cœur) en situation de conduite sur simulateur et n'ont pu participer à l'expérimentation. Une dizaine d'autres sujets n'ont pu être pris en considération pour des considérations techniques (panne de projecteur (barco), orages, coupure d'électricité...). Notre échantillon est par conséquent constitué de 114 sujets. Un descriptif exacte est donné en annexe 9 et 10.

III.5 Enregistrement des données INRETS - LESCO

Les données ont été sauvegardées sur PC dans des fichiers de format.XLS (Excel 5.0).

Nous avons enregistré :

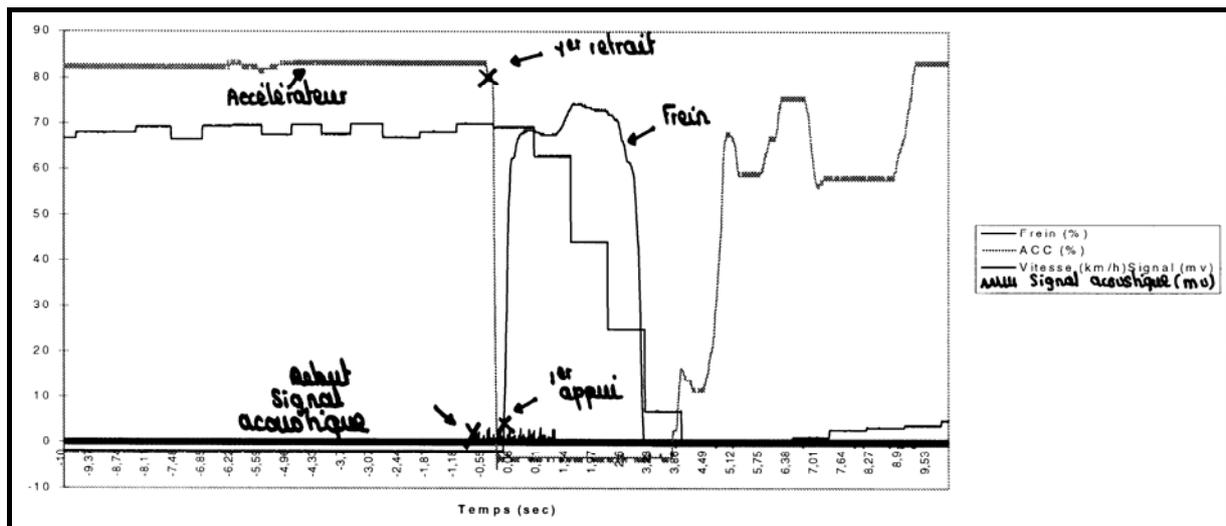
- * le signal acoustique (mV),
- * la vitesse (km/h),

- * le niveau d'enfoncement pédale accélérateur,
- * frein. (%).

III.5.1 Définition de la méthode de calcul des temps primaires, secondaires et totaux

Figure n° 1

Description de la méthode de calcul des temps de réactions primaires, secondaires et totaux



Sur la figure n° 1, nous relatons le mode de calcul pris en compte pour la définition des temps de réactions.

Ainsi le **temps primaire de réaction** est déterminé à partir du temps écoulé, entre le début de l'émission du signal (caractérisée par un signal $\geq 0,5$ mV) et le début de relâchement de la pédale d'accélérateur (déterminé par une différence de proche en proche, tous les 0.01 sec, du % d'enfoncement de l'accélérateur, devant être inférieure ou égale à un seuil de -1 %). Ce temps correspond donc au temps de perception, identification, interprétation du message sonore et début de réaction.

Le **temps secondaire de réaction** est déterminé à partir de l'intervalle de temps entre le début de relâchement de la pédale d'accélérateur (déterminé précédemment) et le début d'action sur le frein (déterminé par une différence de proche en proche, tous les 0.01 sec, du % d'enfoncement du frein, devant être supérieure ou égale à un seuil de 1 %).

Le **temps total de réaction** représente la somme de ces deux temps.

Cette méthode de calcul par différentiation de proche en proche permet de passer outre les problèmes de réglage d'offset des capteurs et les erreurs de manipulation et/ou d'action des sujets (appui sur les deux pédales en même temps).

D'autre part, nous avons constaté sur les données des sujets, que la différence de proche en proche des % d'enfoncement d'accélérateur et frein, en situation de conduite normale, n'excédaient pas respectivement. 0.86 et 0.32, en valeur absolue. Les seuils ont donc été choisis supérieurs à ces deux valeurs afin de détecter des variations rapides d'enfoncement, assimilables à une situation d'urgence, et ne pouvant en aucun cas correspondre à une valeur parasite.

III.5.2 Critique de la valeur d'enfoncement de la pédale accélérateur

Chaque voie d'acquisition a une tension définie. Selon le capteur, en l'occurrence ici le capteur de déplacement, il a été procédé à un étalonnage. Sans enfoncement de la pédale d'accélérateur, la valeur relevée en volt était de 0.034V. Appuyée au maximum, la valeur relevée était de 0.566V. Pour établir la transformation en unité %, on applique la formule : $[(V-0.034)/0.566]* 100$. La formule $(V-0.034)$ ramène la courbe à 0 % d'enfoncement. La valeur 0.566 est surestimée afin de considérer la valeur maximum pour un homme du 100ème percentile par exemple.

Une mesure ultérieure a été effectuée. La valeur relevée sans enfoncement était de 0.008.V Ce phénomène explique que nous obtenons parfois sur nos graphes une valeur négative à -5. Pour corriger cet artefact, il suffit d'appliquer la formule suivante soit $X/100* 0.566 + 0.034$ soit $X V$. Puis $[100* [(V - X) / 0.550]]$ soit $X \%$ d'enfoncement réelle. Il suffit par conséquent de rajouter 5 % à la valeur donnée.

III.5.3 Définition de la référence prise en compte pour le début du signal acoustique

Nous avons dans un premier temps effectué plusieurs analyses sur courbes du voltage du début de signal et sur plusieurs échantillons. En effet, même si le signal est toujours identique, l'amplitude du premier pic ne s'avère pas toujours équivalente. Nous avons opté pour la valeur 0,5 mV dans la mesure où cette valeur est enregistrée sur toutes les courbes de référence et permet d'identifier le début du signal. Nous n'avons pas pris une valeur inférieure dans la mesure où celle-ci aurait pu correspondre à une valeur parasite.

III.6 Description des fichiers de la base de données

Les fichiers ont été enregistré sont le format.XLS.

Pour chaque sujet, nous avons obtenu au maximum 4 fichiers soit :

Sujet X tsl : sujet X 1^{er} temps de réaction en tâche simple.

Sujet X ts2 : sujet X 2nd temps de réaction en tâche simple.

Sujet X tdl : sujet X 1er temps de réaction en tâche double.

Sujet X td2 : sujet X 2nd temps de réaction en tâche double.

et 100 sujets

Sujet X ttl : sujet X 1^{er} temps de réaction en tâche triple.

Sujet X tt2 : sujet X 2nd temps de réaction en tâche triple.

Les fichiers d'acquisition sont organisés de la façon suivante :

EX : SOOITS1 (en titre) : S = sujet 001 = sujet n° 1, TS = tâche simple 1 = 1^{er} essai.

En ligne : fréquence d'échantillonnage = 100 Hz.

En colonne :

- * 1^{ère} colonne : Temps (sec)n
- * 2nd colonne : Course de la pédale de frein en %n
- * 3^{ème} colonne : Course de la pédale de l'accélérateur en %n
- * 4^{ème} colonne : Vitesse (km/h)n
- * 5^{ème} colonne : Signal acoustique (mV).

(Voir annexe fichier exemple.xls)

Les fichiers de résultats (fichier tanti.xls) sont organisés de la façon suivante :

En ligne : un conducteur.

En colonne :

- * 1^{ère} colonne : n^o sujet,
- * 2nd colonne : sexe,
- * 3^{ème} colonne : temps de réaction primaire TS1 (1^{er} essai),
- * 4^{ème} colonne : temps de réaction secondaire TS1,
- * 5^{ème} colonne : temps total TS1,
- * 6^{ème} colonne : course de la pédale d'accélérateur au moment du début de signal acoustique TS1,
- * 7^{ème} colonne : Vitesse au moment du début de signal acoustique TS1,
- * 8^{ème} colonne : temps de réaction primaire TS2 (2nd essai),
- * 9^{ème} colonne : temps de réaction secondaire TS2,
- * 10^{ème} colonne : temps total TS2,
- * 11^{ème} colonne : course de la pédale d'accélérateur au moment du début de signal acoustique TS2,
- * 12^{ème} colonne : Vitesse au moment du début de signal acoustique TS2.

Les résultats sur TD1 et TD2 sont organisés de la même façon.

Fichier "traitements statistiques"

Fichier bu.nsd : traitements sur 432 valeurs enregistrées. "Fichier déséquilibré".

Fichier fi.nsd : traitements statistiques sur 164 valeurs (fichier sujet ayant passé les 4 types d'essai TS1, TS2, TD1, TD2).

Fichier i.xls : fichier graphes et calcul des intervalles de confiance calculés par temps par type de tâche et par classe d'âge.

Fichier "caractéristiques des conducteurs"

Ces données ont été obtenues après dépouillement des questionnaires.

Le fichier se nomme classel.xls. Le codage est donné en annexe 9. Ce fichier est imprimé en annexe 9.

Stanti.xls : fichier questionnaire des typologies (se référer au codage cités ci-dessous).

III.7 Méthode de traitement statistiques

OBJECTIF : comparaison des temps de réaction en tâche simple et double

Une comparaison des temps de réaction sera effectuée par classe d'âge : moyenne et écart type sur le temps total de temps de réaction (temps primaire + temps secondaire).

Une analyse de variance nous permettra de déceler s'il existe une différence significative entre les différentes classes d'âge ainsi qu'en fonction du sexe sur la tâche simple (S-R), la tâche double (S-R + Tâche de conduite) et triple (S-R + Tâche de conduite + Tâche de conversation).

Comparaison des moyennes de variables appariées : comparaison du temps total de réaction en tâche simple et triple. (fichier fi.nsd)

Soit une variable X (type de tâche) dont la valeur varie en fonction du nombre (TS(tâche simple), TD (tâche double), TT (tâche triple)). prennent les valeurs $A1$ (1^{er} temps de réaction), $A2$ (2nd temps de réaction), $B1$ (1^{er} temps de réaction en TD), $B2$ (2nd temps de réaction en TD), $C1$ (1^{er} temps de réaction en TT), $C2$ (2nd temps de réaction en TT). Les valeurs correspondantes de X , désignées par x_{1i} et x_{2i} , sont des variables aléatoires appelées variables appariées. La différence $y_i = x_{1i} - x_{2i}$ entre ces valeurs appariées correspond au facteur A (TS) et est une variable aléatoire. La comparaison des moyennes m_1 et m_2 des populations X_1 et X_2 se fait en comparant la valeur probable $m_y = m_1 - m_2$, de la variable Y à la valeur 0. Nous pouvons effectuer la moyenne m_1 (temps de réaction en TS) et la moyenne m_2 (temps de réaction en TT) des populations X_1 (classe jeune) et X_2 (classe âgée). La réalisation de l'hypothèse $m_y = 0$, soit $m_1 = m_2$, suppose que le facteur A (sexe par exemple) n'a pas d'effet sur la variable X (temps de réaction).

EMPLOI DE LA LOI DE STUDENT : CONDITION DE VALIDITE

Les populations X_1 (classe jeune) et X_2 (classe âgée) de variables appariées ne sont soumises à aucune condition. Par contre, la population Y des écarts doit être soumise à la loi normale. Mais cette exigence est d'autant moins impérative que le nombre de couples expérimentaux (x_{1i} et x_{2i}) est grand.

IV. RESULTATS BRUTS ET DISCUSSION

Rappel des abréviations :

TS = tâche simple

TD = tâche double

TD1 = tâche double 1^{er} essai

TD2 = tâche double second essai

TS1 = tâche simple 1^{er} essai

TS2 = tâche simple second essai

TR1 = temps de réaction primaire

TR2 = temps de réaction secondaire

TT = temps total de réaction

IV.1 Analyse descriptive des résultats

IV.1.1 Analyse descriptive des temps de réponses en attention focalisée ter et second essai (TS1 et TS2)

Rappel de la tâche en attention focalisée (tâche simple : TS)

En tâche simple (attention focalisée), l'enregistrement des temps de réponse sur la pédale de frein au signal d'urgence est effectué sans tâche de conduite. Il s'agit d'une réponse de type S-R.

IV.1.1.1 Description de l'action des conducteurs sur la tâche simple (TS)

Les fichiers obtenus ont fait dans un premier temps l'objet d'un traitement macros puis ont été étudié au cas par cas pour les valeurs incohérentes (voir graphes de l'annexe 6).

Sur la tâche simple (TS) nous observons 3 types de situations :

- * **action dite normale** : le sujet appuie sur la pédale d'accélérateur et dès l'apparition du message sonore il freine,
- * **non appui sur la pédale d'accélérateur** : le sujet pose seulement son pied sur la pédale d'accélérateur et dès l'apparition du message sonore il freine : nous ne pouvons ici dans ces conditions dissocier le temps primaire du temps secondaire et nous obtenons seulement le temps total de réaction entre l'intervalle du début du signal sonore (mV) et l'action sur le frein (%),

Mode de détection : valeur différente = dans le fichier de l'annexe 10.

- * **un pied sur l'accélérateur et un pied sur le frein** : le sujet pose son pied sur la pédale d'accélérateur et son autre pied sur la pédale de frein,

Mode de détection :

s'il freine sans avoir posé son pied sur la pédale d'accélérateur et s'il appuie sur l'accélérateur par la suite, nous obtenons un temps négatif sur le temps secondaire dans nos fichiers. (voir annexe 10).

- * **pompage** : le sujet peut appuyer plusieurs fois de suite sur la pédale de frein. (Voir graphes de l'annexe 6),
- * **confusion pédale de frein et d'accélérateur.**

IV.1.1.2 Description de l'action des sujets non pris en compte sur la tâche simple sur le 1^{er} essai (TS1) et le second essai (TS2)

A/ Description de l'action des sujets non pris en compte sur la tâche simple sur le 1^{er} essai (TS1)

3 Sujets ont confondu la pédale de frein et d'accélérateur : Sujet 5 (H 20-30 ans), Sujet 45 (H 50-60 ans), Sujet 50 (F 30-40 ans).

1 Sujet 35 (F 60-70 ans) effectue des allers retours sur la pédale d'accélérateur.

1 Sujet 39 (H 60-70) a appuyé sur la pédale de frein avant.

54 sujets n'ont pas enfoncé suffisamment la pédale d'accélérateur.

55 sujets ont par conséquent été pris en considération en ce qui concerne les temps de réaction en tâche simple 1^{er} essai.

B/ Description de l'action des sujets non pris en compte sur la tâche simple sur le second essai (TS2)

39 sujets (10, 11, 16, 17, 22, 31, 34, 47, 69, 72, 91, 93, 105, 101, 113, 114...) n'ont pas appuyé sur la pédale d'accélérateur ou ont freiné avant le signal sonore. Les sujets 97 et 98 ont appuyé simultanément sur les deux pédales. Le sujet 35 a confondu la pédale d'accélérateur et de frein.

72 sujets ont par conséquent été pris en considération en ce qui concerne les temps de réaction en tâche simple deuxième essai.

Des graphes descriptifs de ces sujets sont donnés en annexe 6.

Ces sujets n'ont par conséquent pas été pris en compte pour le traitement des données.

Tableau n° 2
Récapitulatif des erreurs commises sur la tâche simple 1^{er} essai et second essai par les conducteurs (N = 114)

TYPE D'ERREUR					
Tâche Et Essai	Confusion Pédale Ou Appui 2 Pédales En Simultanée	Appui Insuffisant	Freinage Anticipé	Pompage	Total Erreurs
TS1	3	54	1	1	59
TS2	3	39			42

En ce qui concerne les sujets ayant confondu la pédale de frein et d'accélérateur, on peut supposer qu'en situation d'urgence ils réutilisent des stéréotypes à savoir qu'ils appuient avec le pied gauche comme ils le font habituellement. On peut aussi émettre l'hypothèse que ces sujets possèdent un véhicule automatique et qu'ils agissent comme ils le font en situation réelle. D'autre part, il faut noter que cette phase d'alerte s'avère ambiguë. En situation réelle de conduite, le conducteur dispose en effet de trois pédales (frein, accélérateur et embrayage). Le fait que le véhicule simulateur n'en possède que deux (frein et accélérateur) peut engendrer un effet "tromperie" et/ou une modification du comportement automatique pour le conducteur en situation accidentelle. Ce phénomène engendre par conséquent des erreurs de types "confusion de pédales".

Tableau n° 3
Récapitulatif de l'effectif des sujets pris en compte par classe d'âge sexe et tâches

Tâche	Classe âge	Femme	Homme	TOTAL
TS1	20-30	6	6	12
TS1	30-40	2	9	11
TS1	40-50	3	7	10
TS1	50-60	6	2	8
TS1	60-70	6	4	10
TS1	70-80	2	2	4
TS2	20-30	9	8	17
TS2	30-40	5	8	13
TS2	40-50	6	8	14
TS2	50-60	7	6	13
TS2	60-70	5	6	11
TS2	70-80	1	3	4
TD1	20-30	16	10	26
TD1	30-40	8	10	18
TD1	40-50	9	10	19
TD1	50-60	7	9	16
TD1	60-70	9	9	18
TD1	70-80	5	5	10
TD2	20-30	16	9	25
TD2	30-40	9	10	19
TD2	40-50	9	10	19
TD2	50-60	8	8	16

Tâche	Classe âge	Femme	Homme	TOTAL
TD2	60-70	7	8	15
TD2	70-80	4	5	9
TT1	30-40	6	4	10
TT1	40-50	5	8	13
TT1	50-60	7	7	14
TT1	60-70	8	8	16
TT1	70-80	3	5	8
TT2	30-40	4	4	8
TT2	40-50	6	8	14
TT2	50-60	8	5	13
TT2	60-70	7	9	16
TT2	70-80	3	5	8

IV.1.1.3 Description des sujets n'ayant pas appuyer suffisamment sur la pédale d'accélérateur en tâche simple : 1^{er} essai (TS1) et second essai (TS2)

En ce qui concerne le calcul des temps primaires en tâche simple, nous n'avons pas pu toujours tenir compte des résultats. En effet, l'enfoncement de la pédale est tellement faible pour les sujets qui ont été cités dans le chapitre précédent (3.92, 4.2 % d'enfoncement) que le capteur ne nous permet pas d'identifier le moment où le conducteur relève le pied de l'accélérateur ; cette valeur pouvant correspondre à une valeur parasite. En fait, certains sujets, malgré la consigne, se sont contentés de poser leur pied sur la pédale d'accélérateur. Il faut noter que le conducteur peut opter volontairement pour cette stratégie économique de façon à obtenir un temps de réaction plus rapide. On peut également émettre l'hypothèse que le sujet modifie son comportement habituel dans la mesure où la conduite sur simulateur est par essence une situation non réelle ce qui entraîne une perturbation du conducteur.

La dénomination des sujets n'ayant pas suffisamment appuyé sur la pédale d'accélérateur est relatée dans l'annexe n° 10 "Table de rejet de sujets" ainsi que toutes les données brutes par classe et inter classe.

IV.1.1.4 Analyse descriptive des temps de réaction en tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) et second essai (TS2) : temps primaire (TR1), secondaire (TR2) et total (TT) en fonction de la classe d'âge

Nous n'avons pris en considération que les sujets ayant respecté la consigne et n'ayant pas utilisé de stratégie compensatrice sur la pédale soit 55 sujets sur le 1^{er} essai (TS1) et 72 sujets sur le second essai (TS2). Nous donnons ici les résultats descriptifs en seconde des temps primaires, secondaires et totaux pour la tâche simple par classe d'âge. Nous avons également calculé ces différents temps en fonction du sexe. Ces résultats sont donnés en annexe 10.

Tableau n° 4
Description du temps de réaction total sur la tâche simple (TS1) 1^{er} essai par
classe d'âge (N = 55) et description du temps de réaction total (TT) sur la tâche
simple (TS2) 2nd essai par classe d'âge (N = 72)

Rappel des abréviations

TS = tâche simple

TS1 = tâche simple 1^{er} essai

TS2 = tâche simple second essai

TR1 = temps de réaction primaire

TR2 = temps de réaction secondaire

TT = temps total de réaction

N = nombre de sujets

Classe âge	Moyenne totale (sec) 1 ^{er} essai	Ecart type totale (sec) 1 ^{er} essai	N
20-30	0.55	0.088	12
30-40	0.625	0.14	11
40-50	0.62	0.09	10
50-60	0.903	0.32	8
60-70	0.86	0.62	10
70-80	0.81	0.10	4
Classe âge	Moyenne totale (sec) second essai	Ecart type totale (sec) second essai	N
20-30	0.53	0.1	17
30-40	0.51	0.08	13
40-50	0.55	0.17	14
50-60	0.56	0.12	13
60-70	0.6	0.11	11
70-80	0.58	0.02	4

Le tableau n° 4 représente le temps de réponse global (TT), c'est à dire la durée entre le début de l'émission du signal sonore et le premier point d'application sur la pédale de frein. Le temps total est équivalent à la somme du temps primaire (TR1) et secondaire (TR2). Il s'échelonne de 0.55 s sur la classe d'âge 20-30 ans à 0.903 s sur la classe d'âge 50-60 ans (écart type élevé) sur le 1^{er} essai en tâche simple (figure n° 2).

Sur le second essai (figure n° 3), il s'échelonne de 0.51 s sur la classe d'âge 30-40 ans à 0.6 s sur la classe d'âge 60-70 ans. Les temps de réactions diminuent par conséquent en fonction de l'essai. Il existe un effet préalerte que nous avons déjà défini plus haut et que nous avons testé lors des analyses statistiques.

Il se matérialise par un accroissement du temps de réaction lié au vieillissement plus marqué sur l'essai n° 1. Lors de cet essai le conducteur doit identifier le signal acoustique. Ce fait entraîne des temps de réponses plus longs sur le premier essai. Mais on note que les classes âgées ont des performances plus élevées sur l'essai 2. On peut supposer que dès le second essai, la tâche est automatisée dans la mesure la tâche demeure relativement simple (stimulus auditif - réponse). Ce phénomène expliquerait le fait que les conducteurs âgés obtiennent de meilleures performances sur le second essai.

Figure 2
Moyenne et écart type des temps de réactions totaux en tâche simple 1^{er} essai (TS1) par classe d'âge (N = 55)

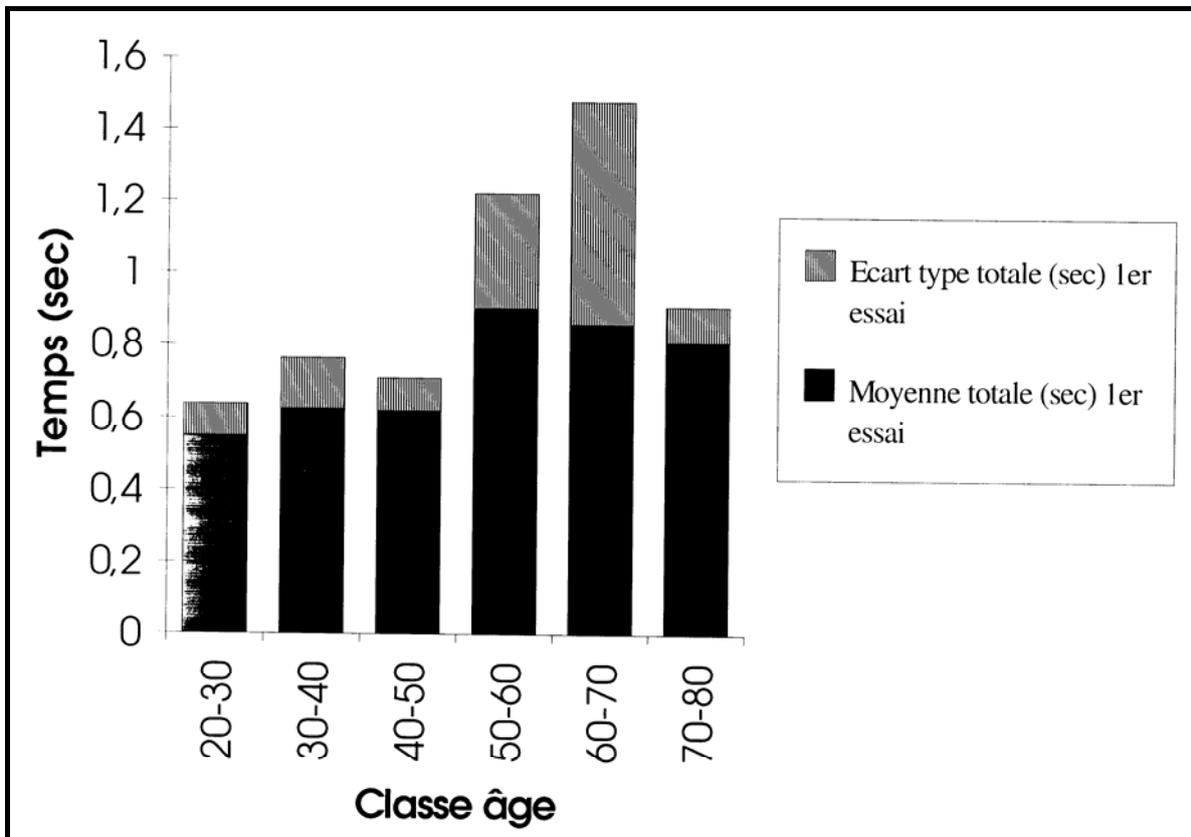


Figure n° 3
Description du temps de réaction total (TT) sur la tâche simple second essai (TS2)
par classe d'âge (N =72)

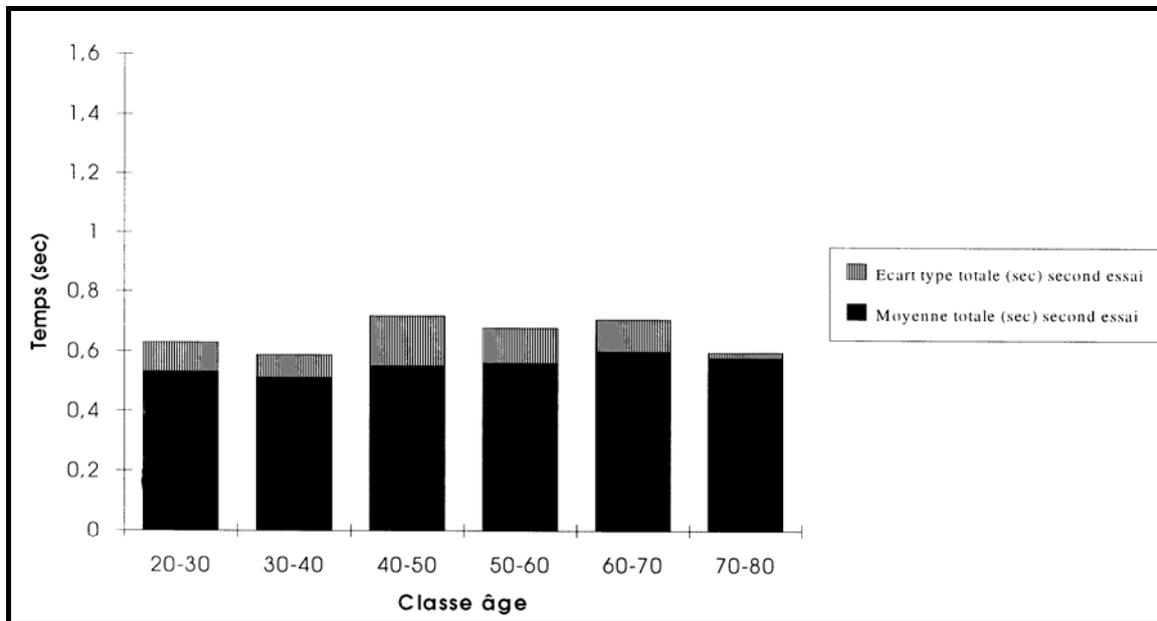


Tableau n° 5
Description du temps de réaction primaire (TR1) sur la tâche simple (TS1)
1^{er} essai par classe d'âge (N = 55) et description du temps de réaction primaire
(TR1) sur la tâche simple (TS2) 2nd essai par classe d'âge (N = 72)

TR1 = temps de réaction primaire

N = nombre de sujets

Classe âge	Moyenne TR1 (sec) 1 ^{er} essai	Ecart type TR1 (sec) 1 ^{er} essai	N
20-30	0.302	0.09	12
30-40	0.29	0.15	11
40-50	0.37	0.12	10
50-60	0.59	0.38	8
60-70	0.554	0.655	10
70-80	0.42	0.2448	4

Classe âge	Moyenne TR1 (sec) second essai	Ecart type TR1 (sec) second essai	N
20-30	0.29	0.12	17
30-40	0.27	0.04	13
40-50	0.29	0.13	14
50-60	0.30	0.08	13
60-70	0.33	0.11	11
70-80	0.3	0.06	4

Sur le tableau n° 5, nous analysons les temps primaires (TR1) ou de première commande active selon **Malaterre**. Ce temps correspond à l'identification et l'interprétation du signal et à la première action motrice (premier mouvement de retrait) sur la pédale d'accélérateur. Sur le 1^{er} essai en attention focalisée, sur une population globale de 55 sujets, la moyenne des temps de réactions primaires (TR1) s'échelonne de 0.29 s pour la classe d'âge 30-40 ans à 0.59 s pour la classe d'âge 50-60 ans avec un écart type très important sur la classe d'âge 60-70 ans. La variabilité interindividuelle des réponses est par conséquent élevée sur cette classe d'âge.

Sur le second essai en attention focalisée (TS2), sur un effectif de 72 sujets, on note que le temps primaire de réaction (TR1), s'accroît avec l'âge. Il s'échelonne de 0.27 s pour la classe d'âge 30-40 ans à 0.33 s pour la classe d'âge 60-70 ans.

On constate l'existence d'un effet préalerte sur le temps primaire de réaction en tâche simple (attention focalisée). En effet, les temps de réactions sur le second essai sont de plus courtes durées que sur le 1^{er} essai. On constate une augmentation des temps de réactions primaires sur le premier essai liée au vieillissement. Néanmoins, nous remarquons que cette augmentation s'estompe lors du second essai. Alertés, les sujets âgés obtiennent des performances à peu près similaires à celles des jeunes.

Tableau n° 6
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur la tâche simple (TS1)
1^{er} essai par classe d'âge (N = 55) et 2nd essai (N = 72)

TR2 = temps de réaction secondaire

N = nombre de sujets

Classe âge	Moyenne TR2 (sec) 1 ^{er} essai	Ecart type TR2 (sec) 1 ^{er} essai	N
20-30	0.25	0.05	12
30-40	0.33	0.15	11
40-50	0.25	0.05	10
50-60	0.31	0.12	8
60-70	0.306	0.111	10
70-80	0.39	0.29	4

Classe âge	Moyenne TR2 (sec) second essai	Ecart type TR2 (sec) second essai	N
20-30	0.23	0.08	17
30-40	0.23	0.05	13
40-50	0.255	0.08	14
50-60	0.25	0.06	13
60-70	0.27	0.10	11
70-80	0.28	0.05	4

Sur le tableau n° 6, nous analysons les temps secondaires (TR2) sur le 1^{er} essai en attention focalisée. Ce temps correspond au temps physiologique du mouvement de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein (1^{er} point d'application).

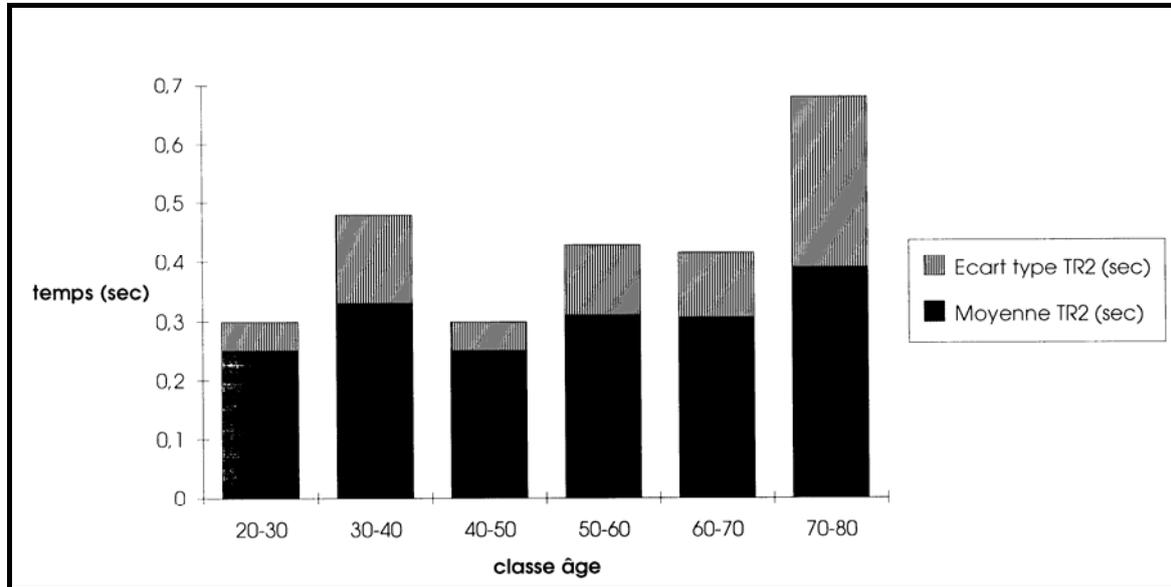
Sur le 1^{er} essai, sur une population globale de 55 sujets, la moyenne des temps de réactions secondaires (TR2) s'échelonne de 0.25 s pour la classe d'âge 20-30 ans à 0.39 s pour la classe d'âge 70-80 ans. La variabilité interindividuelle des réponses est par conséquent élevée sur cette classe d'âge.

Sur le second essai (TS2), sur un effectif de 72 sujets, on note que le temps secondaire de réaction (TR2) s'échelonne de 0.23 s pour la classe d'âge 20-30 ans à 0.28 s pour la classe d'âge 70-80 ans.

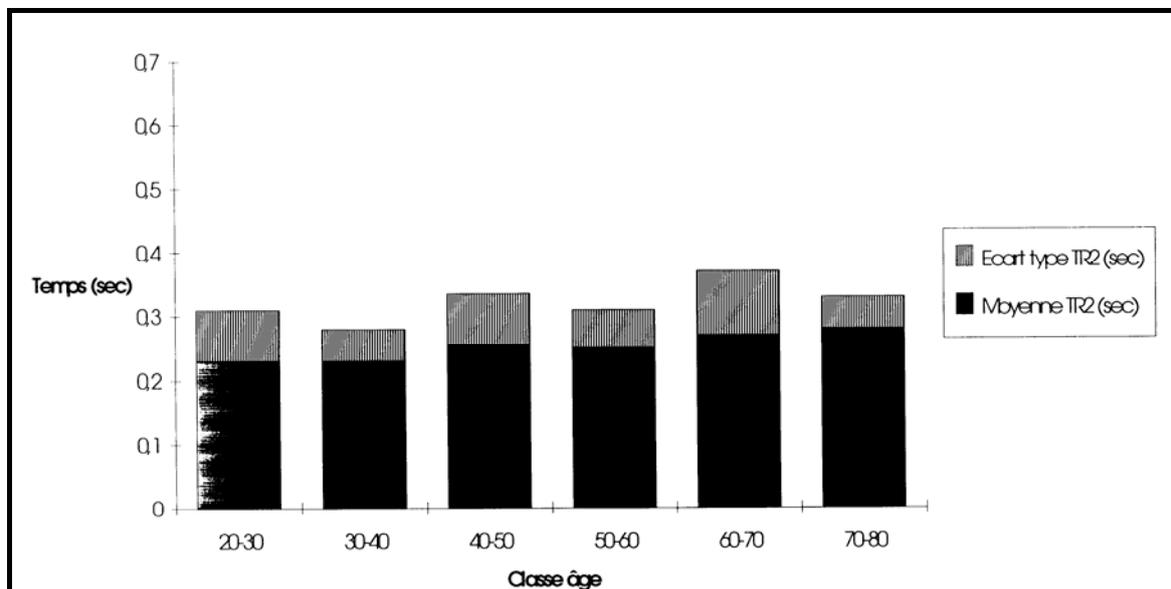
On constate l'existence d'un effet préalerte sur le temps secondaire de réaction en tâche simple (attention focalisée). Les temps de réponses sur le second essai sont de plus courtes durées que sur le 1^{er} essai. On observe une augmentation des temps de réactions secondaires sur le premier essai liée au vieillissement. Néanmoins, nous remarquons que cette augmentation s'estompe lors du second essai. Alertés, les sujets âgés obtiennent de meilleures performances tout comme nous l'avons déjà enregistré sur les temps de réponses primaires (TR1).

Figure n° 4
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur la tâche simple par classe d'âge

1^{ER} ESSAI (N = 55)



SECOND ESSAI (N = 72)



En résumé, nous pouvons dire **qu'en attention focalisée** (tâche simple) :

- * il existe une augmentation des temps de réaction liée au vieillissement en tâche simple (attention focalisée) sur le 1^{er} essai,
- * le temps de réponse primaire (TR1) et secondaire (TR2) augmente avec l'âge sur le 1^{er} essai,

- * les temps de réactions primaires (TR1) sont plus longs que les temps de réactions secondaires (TR2) notamment sur le 1^{er} essai (figure n° 2). En effet, si on visualise le temps de réaction secondaire correspondant à un mouvement (déplacement du pied de la pédale d'accélérateur sur la pédale de frein plus le premier point d'enfoncement de la pédale de frein), on note qu'il est moins important que le temps de réaction primaire qui correspond au temps de perception du signal acoustique plus le premier point d'application sur la pédale de frein.

IV.1.2 Analyse descriptive de l'effet de la tâche, de l'essai et de la classe d'âge en attention partagée (tâche double)

Rappel de la tâche en attention partagée

En double tâche (attention partagée) le sujet effectue une tâche de maintien de trajectoire et une tâche de réponse aux messages d'alerte de type S-R.

Nous n'avons pris en considération que les sujets ayant respecté la consigne et n'ayant pas utilisé de stratégie compensatrice sur la pédale soit 107 sujets sur le 1^{er} essai (TD1) et 103 sujets sur le second essai (TD2).

Nous donnons ici les résultats descriptifs en seconde des temps primaires, secondaires et totaux pour la tâche double par classe d'âge. Nous avons également calculé ces différents temps en fonction du sexe. Ces résultats sont donnés en annexe 10.

IV.1.2.1 Description de l'action des sujets n'ayant pu être pris en compte pour le calcul des temps de réaction sur la tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1) et second essai (TD2)

A/ Description de l'action des sujets n'ayant pu être pris en compte pour le calcul des temps de réaction sur la tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1)

Lors de l'élaboration des graphes (voir annexe 6) par sujet, nous nous sommes aperçus du non respect de la consigne pour certains sujets sur la tâche double 1^{er} et second essai (respectivement TD1 et TD2). Nous relatons ici l'erreur commise par le sujet.

Sujet 83 : erreur technique : pas de signal acoustique enregistré.

Sujet 85 : (F 20-30 ans) : appui sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 87 : (F 50-60 ans) : appui sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 97 : (H 70-80 ans) : appui sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 113 : (F 70-80 ans) : appui sur les deux pédales en simultanée.

B/ Description de l'action des sujets n'ayant pu être pris en compte pour le calcul des temps de réaction sur la tâche double (TD) second essai (TD2)

Sujet 83 : a appuyé sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 101 : pompage.

Sujet 113 : a appuyé sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 97 : a appuyé sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 85 : a appuyé sur les deux pédales en simultanée.

Ces enregistrements n'ont pu être par conséquent pris en compte. Les autres sujets non pris en compte ne l'ont pas été pour des considérations techniques : pas de signal ou enregistrement incohérent.

Tableau n° 7
Description du temps de réaction total sur le 1^{er} essai par classe d'âge (TD1) (N = 107)

Classe âge	Moyenne totale (sec)	Ecart type totale (sec)	N
20-30	0.69	0.18	26
30-40	0.68	0.18	18
40-50	0.63	0.16	19
50-60	0.78	0.22	16
60-70	0.97	0.53	18
70-80	0.82	0.22	10

Le tableau n° 7 représente le temps de réponse global (TT) en attention partagée sur le 1^{er} essai (TD1), c'est à dire la durée entre le début de l'émission du signal sonore et le premier point d'application sur la pédale de frein. Le temps total est équivalent à la somme du temps primaire (TR1) et secondaire (TR2). Nous notons que ces temps de réponses s'échelonnent de 0.69 s sur la classe d'âge 20-30 ans à 0.97 s sur la classe d'âge 60-70 ans. Sur le 1^{er} essai en attention partagée, le temps de réponse croît avec l'âge. On remarque qu'en ce qui concerne la classe d'âge 70-80 ans, les résultats obtenus sont plus faibles que ceux de la classe d'âge 60-70 ans. Ils obtiennent des temps de réponses légèrement plus rapides. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que ces sujets ont déjà fait l'objet "d'une sélection naturelle" et qu'il s'agit de conducteurs restés très "dynamiques". Le rapport **STAMMI** (deliverable n° 3,1992) nous renseigne sur les habitudes de conduite des conducteurs français en fonction de la tranche d'âge. Ainsi, il apparaît que 87 % des plus de 65 ans renoncent effectivement à la conduite, contre 51 % des 25-44 ans. Il en ressort que les personnes de plus de 55 ans ne désirent pas conduire en cas de mauvais temps et que les distances parcourues par an se réduisent.

Figure 5
Description du temps total de réaction sur la tâche double 1^{er} essai (TD1) par classe d'âge (N = 107)

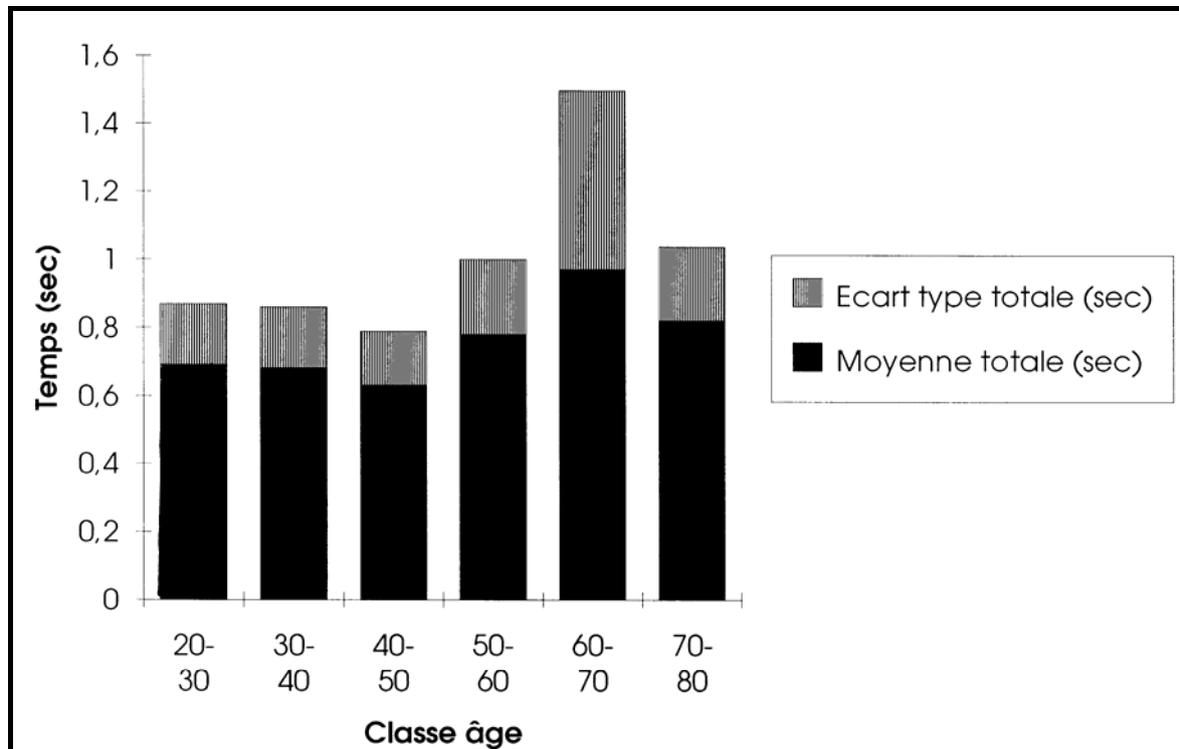


Tableau n° 8
Description du temps de réaction total (TT) sur le 2nd essai (TD2) par classe d'âge (N = 103)

Classe âge	Moyenne totale (sec)	Ecart type totale (sec)	N
20-30	0.56	0.11	25
30-40	0.58	0.1	19
40-50	0.64	0.3	19
50-60	0.62	0.14	16
60-70	0.66	0.15	15
70-80	0.68	0.12	9

Le tableau n° 8 représente le temps de réponse global (TT) en attention partagée sur le second essai (TD2), c'est à dire la durée entre le début de l'émission du signal sonore et le premier point d'application sur la pédale de frein. Le temps total est équivalent à la somme du temps primaire (TR1) et secondaire (TR2). Nous notons qu'il s'échelonne de 0.56 s sur la classe d'âge 20-30 ans à 0.68 s sur la classe d'âge 70-80 ans.

Ces temps de réponses sont par conséquent différents de l'essai n° 1 (TD1) puisqu'ils s'échelonnaient de 0.69 s sur la classe d'âge 20-30 ans à 0.97 s sur la classe d'âge 60-70 ans.

On ne peut que confirmer le fait qu'il existe un phénomène d'apprentissage ou que le 1^{er} essai sert de préalerte au sujet. Alertés, les sujets âgés obtiennent des temps de réactions plus courts et réduisent la différence enregistrée par rapport à la classe jeune sur le 1^{er} essai.

Figure 6
Description du temps de réaction total en tâche double (TD2) par classe d'âge
(N = 103)

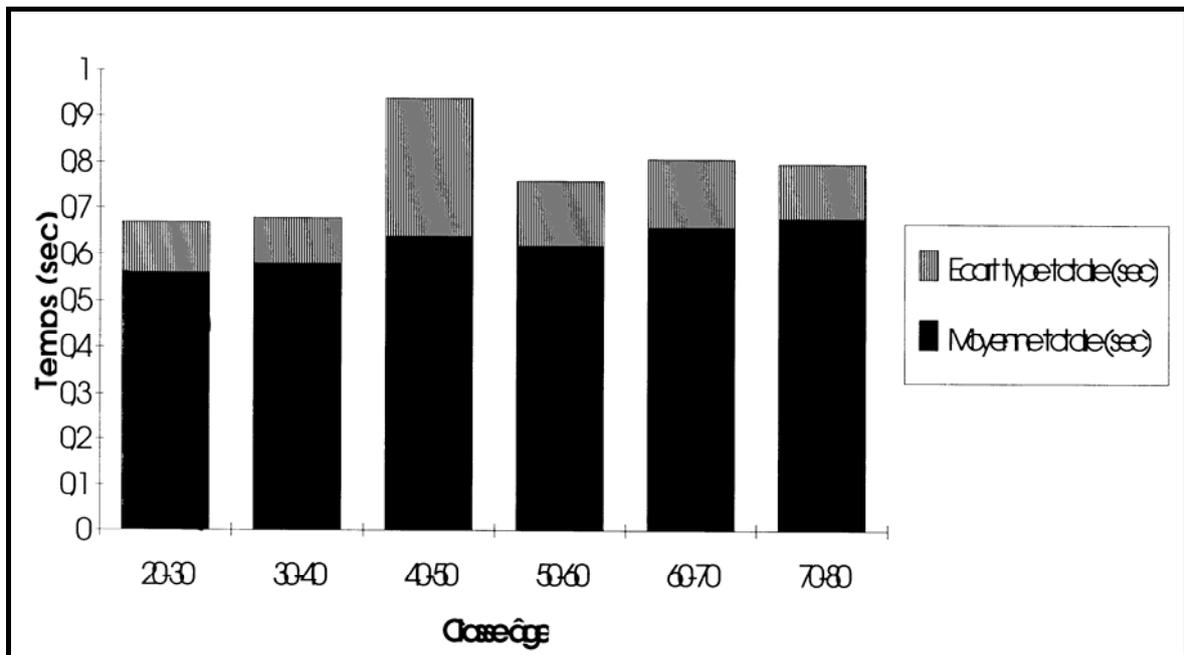
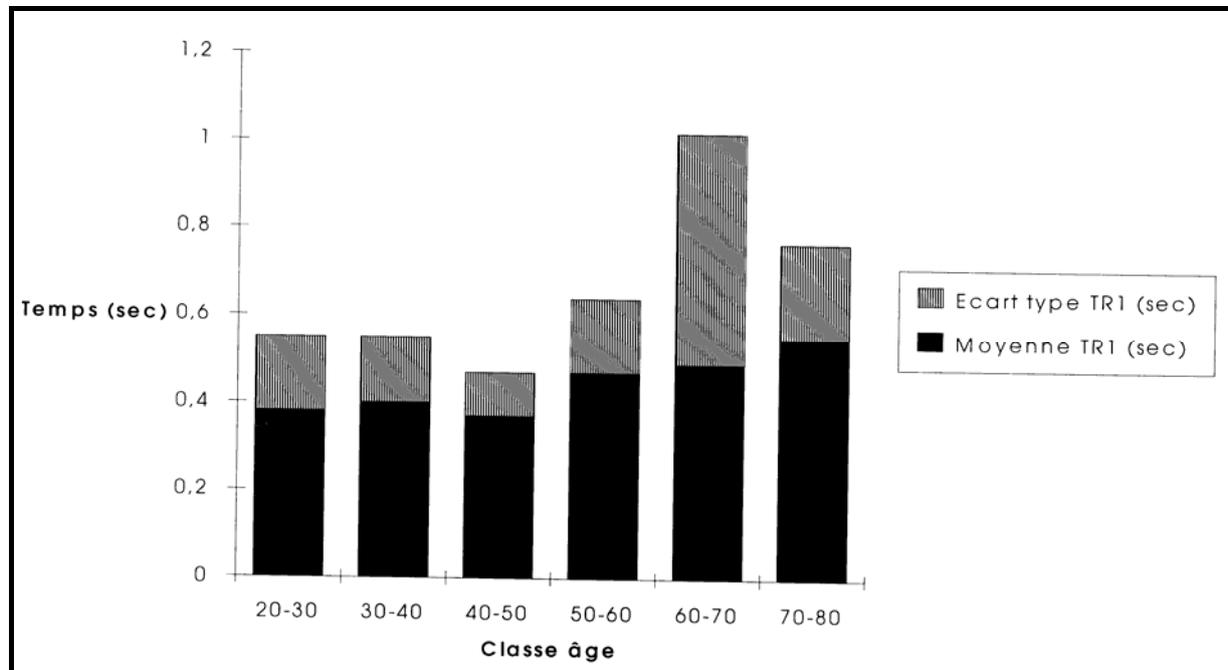


Tableau n° 9
Description du temps de réaction primaire (TR1) sur TD1 1^{er} essai par classe
d'âge (N = 107)

TR1 = temps de réaction primaire

Classe âge	Moyenne TR1 (sec)	Ecart type TR1 (sec)	N
20-30	0.38	0.17	26
30-40	0.40	0.15	18
40-50	0.37	0.1	19
50-60	0.47	0.17	16
60-70	0.49	0.53	18
70-80	0.55	0.22	10

Figure 7
Description du temps de réaction primaire (TR1) sur TD1 1^{er} essai par classe d'âge (N = 107)



Sur un effectif global de 107 sujets, on note sur le tableau n° 9 que le temps de réaction primaire sur le 1^{er} essai (TR1) en attention partagée correspondant au temps de perception et d'identification du signal acoustique plus premier retrait de la pédale d'accélérateur augmente avec l'âge. Les temps de réactions primaires s'échelonnent de 0.37 s sur la classe d'âge 40-50 ans à 0.55 s sur la classe d'âge 70-80 ans. L'écart type semble par conséquent s'accroître avec le vieillissement mais reste néanmoins à valider statistiquement. En d'autre terme, la variabilité inter individuelle semblerait augmenter avec l'âge.

Tableau n° 10
Description du temps de réaction primaire (TR1) sur TD2 2nd essai par classe d'âge (N = 103)

TR1 = temps de réaction primaire

Classe âge	Moyenne TR1 (sec)	Ecart type TR1 (sec)	N
20-30	0.256	0.121	25
30-40	0.276	0.09	19
40-50	0.342	0.289	19
50-60	0.316	0.166	16
60-70	0.343	0.135	15
70-80	0.448	0.13	9

Sur le tableau n° 10, sur le second essai en tâche double, on observe une augmentation des temps primaires (TR1) en fonction de l'âge qui demeure moins importante que sur le 1^{er} essai. Les temps de réponses sur l'essai 2 s'échelonnent de 0.256 s pour la classe d'âge 20-30 ans à 0.448 s pour la classe d'âge 70-80 ans avec cette fois une variabilité interindividuelle importante sur la classe d'âge 40-50 ans (écart type = 0.289 s). Nous sommes à même de penser qu'il existe un effet de préalerte qui explique des temps de réactions d'une durée plus courte sur le second essai en attention partagée.

Figure 8
Description du temps de réaction primaire (TR1) sur TD2 2nd essai par classe d'âge (N = 103)

TR1 = temps de réaction primaire

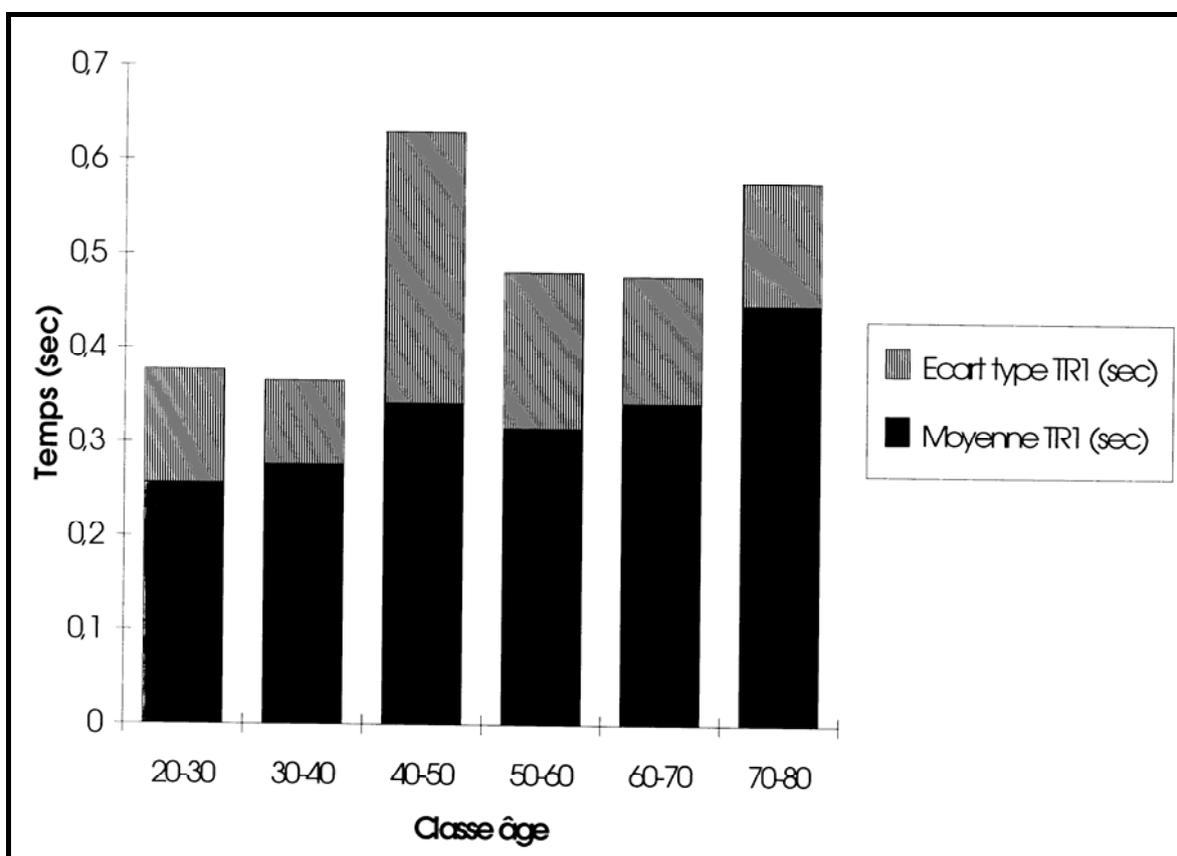


Tableau n° 11
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TD1 1^{er} essai par classe d'âge (N = 107)

TR2 = temps de réaction secondaire

Classe âge	Moyenne TR2 (sec)	Ecart type TR2 (sec)	N
20-30	0.30	0.12	26
30-40	0.27	0.06	18

Classe âge	Moyenne TR2 (sec)	Ecart type TR2 (sec)	N
40-50	0.26	0.09	19
50-60	0.30	0.13	16
60-70	0.47	0.29	18
70-80	0.2	0.15	10

Figure 9
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TD1 1^{er} essai par classe d'âge (N = 107)

TR2 = temps de réaction secondaire

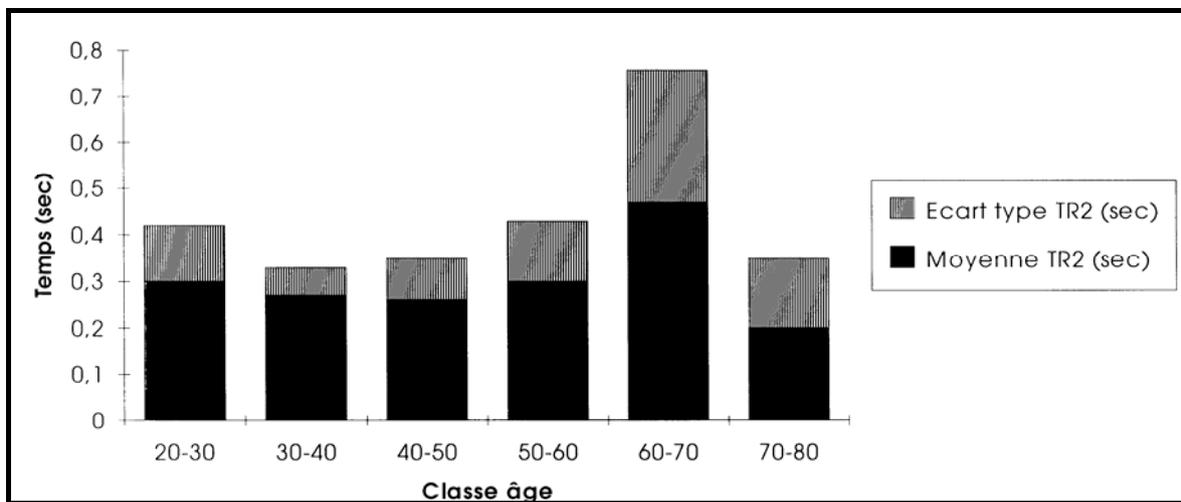
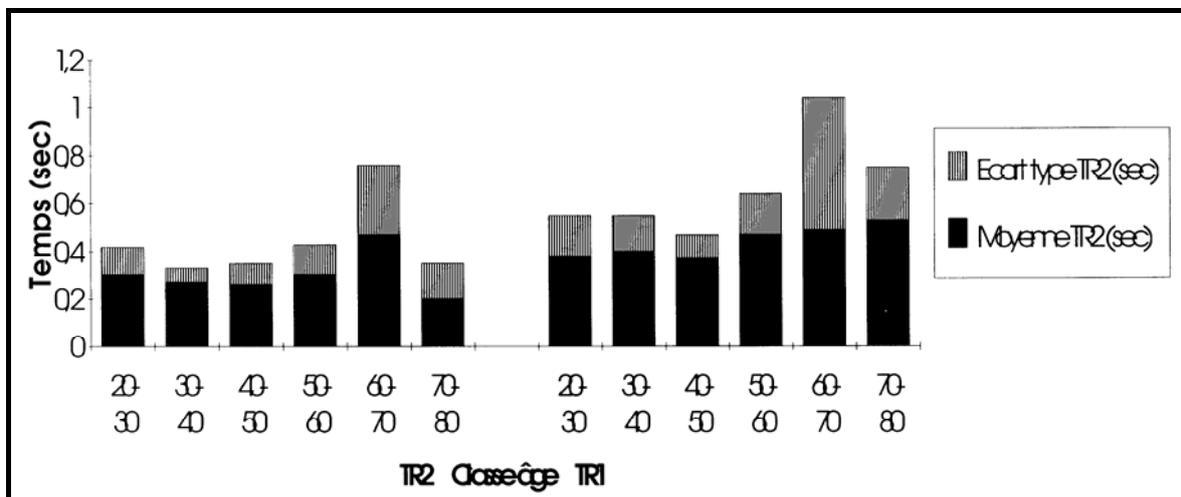


Figure 10
Comparaison des temps de réaction primaire (TR1) et secondaire (TR2) sur la tâche double 1^{er} essai (TD1)

TR1 = temps de réaction primaire
 TR2 = temps de réaction secondaire



Sur les figures n° 9, 10 et le tableau n° 11, on remarque que la moyenne des temps de réactions secondaires (TR2) en attention partagée et en préalerte est toujours moins élevée que la moyenne des temps de réactions primaires (TR1) quelque soit la classe d'âge. Rappelons que le temps primaire de réaction (TR1) correspond au temps de perception du signal sonore, identification et interprétation plus le premier retrait de la pédale d'accélérateur. Le temps secondaire (TR2) correspond au temps physiologique du mouvement de premier retrait de la pédale d'accélérateur du pied droit vers la pédale de frein (1^{er} point d'application). L'amplitude du mouvement et la course du pied est par conséquent plus importante sur le second temps (TR2).

Pourtant, en attention focalisée comme en attention partagée, nous notons que le temps primaire (TR1) où temps de première commande active selon **Malaterre** est plus long.

Nous pouvons donc conclure qu'il existe bien un traitement cognitif du conducteur. Il peut s'agir de l'identification du signal et de l'interprétation tout comme de l'activation du programme moteur. Il peut également s'agir d'une impression du conducteur quand à la charge de travail perçue. En d'autres termes, la charge de travail attendue par le conducteur en tâche double serait plus importante. Néanmoins, nous ne pouvons pas dans le cadre de cette étude faire d'hypothèse sur la signification exacte de ce temps.

Les figures n° 11 et 12 montrent par ailleurs qu'en attention partagée :

- * Les temps de réactions ont tendance à augmenter avec l'âge sur le 1^{er} essai.
- * Le temps secondaire (TR2) et primaire (TR1) augmente avec l'âge.

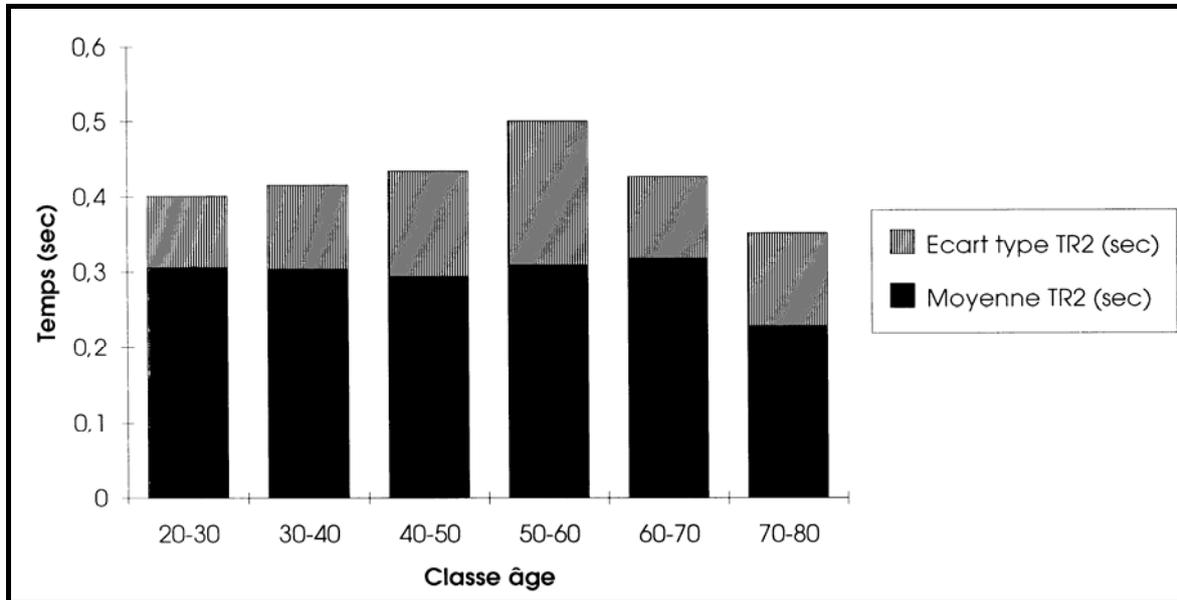
Tableau n° 12
description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TD2 2nd essai (N = 103)

TR2 = temps de réaction secondaire

Classe âge	Moyenne TR2 (sec)	Ecart type TR2 (sec)	N
20-30	0.305	0.096	25
30-40	0.303	0.113	19
40-50	0.293	0.143	19
50-60	0.308	0.193	16
60-70	0.318	0.11	15
70-80	0.228	0.124	9

Figure 11
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TD2 2nd essai par classe d'âge (N = 103)

TR2 = temps de réaction secondaire



La figure n° 11 montre qu'il existe une augmentation du temps de réaction secondaire (TR2) en fonction de l'âge en attention partagée sur le second essai excepté ici en ce qui concerne la classe d'âge 70-80 ans. Ce phénomène sera testé statistiquement dans le prochain chapitre. On observe en effet sur la figure n° 8 que le temps de réaction primaire (TR1) augmente avec l'âge en attention partagée sur le second essai. Paradoxalement, on note sur la figure n° 11 que ces mêmes sujets ont des temps de réponses sur le second temps de réaction plus courts que les autres classes d'âge. Nous sommes par conséquent en mesure de dire que les sujets de la classe d'âge 70-80 ans compensent la diminution de leur temps de réaction primaire (TR1) par un accroissement de leur temps de réaction secondaire (TR2).

Cependant l'échantillon demeure faible et les résultats sont à lire avec prudence (N = 9).

En résumé, nous dirons que :

- * Les temps de réactions en attention partagée augmentent avec l'âge sur le 1^{er} essai.
- * Les temps de réactions primaires (TR1) sont plus longs que les temps de réactions secondaires (TR2). Le temps de réaction secondaire correspondant à un mouvement (déplacement du pied de la pédale d'accélérateur sur la pédale de frein plus enfoncement de la pédale de frein) est moins important que le temps de réaction primaire qui correspond au temps d'identification, interprétation et premier mouvement de retrait de la pédale d'accélérateur.
- * Il existe une augmentation du temps de réaction secondaire (TR2) liée au vieillissement.
- * Le temps primaire (TR1) et secondaire augmente avec l'âge sur le 1^{er} et second essai.

- * L'écart type de la classe d'âge 40-50 ans s'avère plus élevé ce qui semble signifier une plus grande variabilité interindividuelle des sujets de cette classe d'âge.

IV.1.3 Analyse descriptive des effets de la classe d'âge, de la tâche et de l'essai sur les temps de réactions en attention partagée (tâche triple)

RAPPEL DE LA TACHE TRIPLE (ATTENTION PARTAGEE)

En triple tâche le sujet effectue une tâche de maintien de trajectoire et une tâche de réponse aux messages d'alerte (S-R) ainsi qu'une tâche de conversation décrite dans le chapitre "déroulement de l'expérimentation".

Nous n'avons pris en considération que les sujets ayant respecté la consigne, n'ayant pas utilisé de stratégie compensatrice sur la pédale et pour lesquels aucun incident technique n'a eu lieu soit 61 sujets sur le 1^{er} essai (TT1) et 68 sujets sur le second essai (TT2).

Nous donnons ici les résultats descriptifs en seconde des temps primaires, secondaires et totaux pour la tâche triple par classe d'âge. Nous avons également calculé ces différents temps en fonction du sexe et ces résultats sont donnés en annexe 10.

IV.1.3.1 Description des sujets non pris en compte lors de la tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)

La tâche triple n'a pas fait l'objet d'un enregistrement systématique au début de la manipulation dans la mesure où l'expérimentatrice ne disposait pas d'une tierce personne. La classe d'âge 20-30 ans n'a par conséquent pas été prise en compte. Le tableau de rejet fait état des sujets n'ayant pu faire l'objet de ces enregistrements (annexe 9).

A/ DESCRIPTION DES TYPES D'ERREURS EFFECTUEES PAR LES SUJETS ET NON PRIS EN COMPTE LORS DE LA TACHE TRIPLE 1^{ER} ESSAI (TT1)

Sujet 34 (F 30-40 ans) : non enregistrement du temps primaire.

Sujet 39 (H 60-70 ans) : erreur d'enregistrement (pas de signal acoustique).

Sujet 53 (H 30-40 ans) : pompage.

Sujet 83 (F 50-60 ans) : a ralenti sa vitesse bien avant le signal acoustique.

Sujet 85 (F 30-40 ans) : appui sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 87 (F 50-60 ans) : idem.

Sujet 97 (H 70-80 ans) : idem.

Sujet 113 (F 70-80 ans) : idem.

B/ DESCRIPTION DES SUJETS NON PRIS EN COMPTE LORS DE LA TACHE TRIPLE SECOND ESSAI (TT2)

Sujet 35 (F 60-70 ans) : appui sur les deux pédales en simultanée.

Sujet 85 (F 30-40 ans) : idem.

Sujet 113 (F 70-80 ans) : idem.

Les sujets 78 (F 50-60 ans), 97 (H 70-80 ans), 99 (F 60-70 ans) et 109 (F 40-50 ans) n'ont pas pu être pris en compte dans la mesure où ils ont éprouvé un malaise sur simulateur.

IV.1.3.2 Résultats sur la tâche triple (TT) en attention partagée 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)

Tableau n° 13
Description du temps de réaction total sur le 1^{er} essai (TT1) (N = 61)

Classe âge	Moyenne totale (sec)	Ecart type totale (sec)	N
20-30	-	-	-
30-40	0.58	0.12	10
40-50	0.67	0.35	13
50-60	0.67	0.16	14
60-70	0.76	0.24	16
70-80	0.7	0.16	8

Le tableau n° 13 représente le temps de réponse global en tâche triple (attention partagée) 1^{er} essai (TT1), c'est à dire la durée entre le début de l'émission du signal sonore et le premier point d'application sur la pédale de frein. Le temps total est équivalent à la somme du temps primaire (TR1) et secondaire (TR2). Il s'échelonne de 0.58 s sur la classe d'âge 30-40 ans à 0.76 s sur la classe d'âge 60-70 ans.

Figure 12
Description du temps de réaction total sur le 1^{er} essai (TT1) (N = 61)

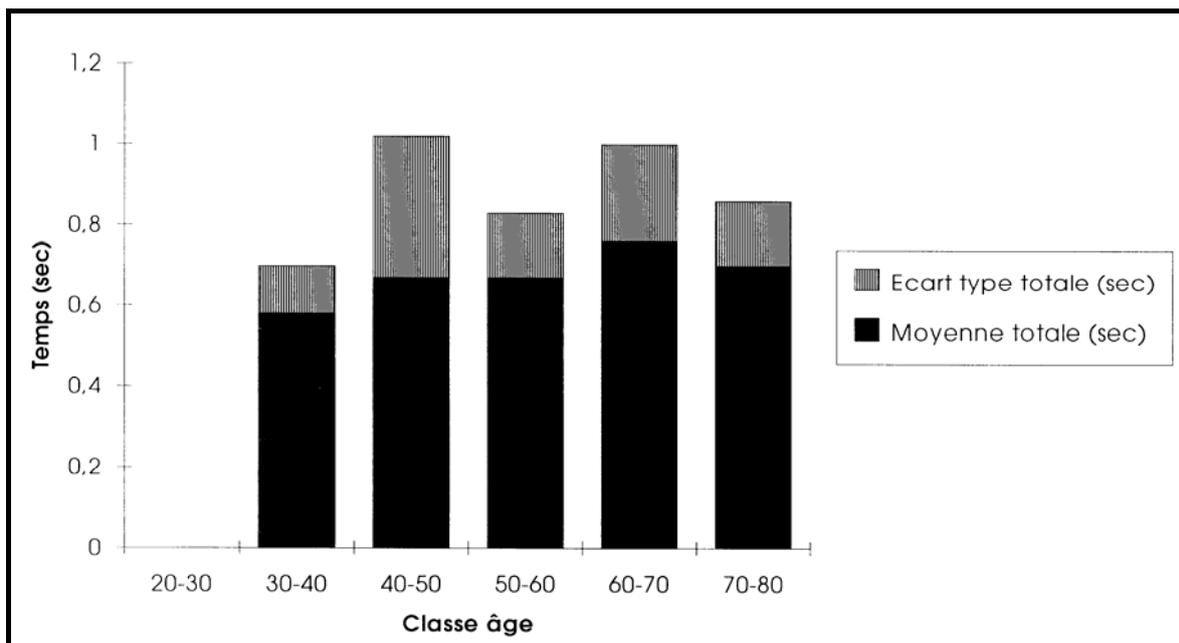
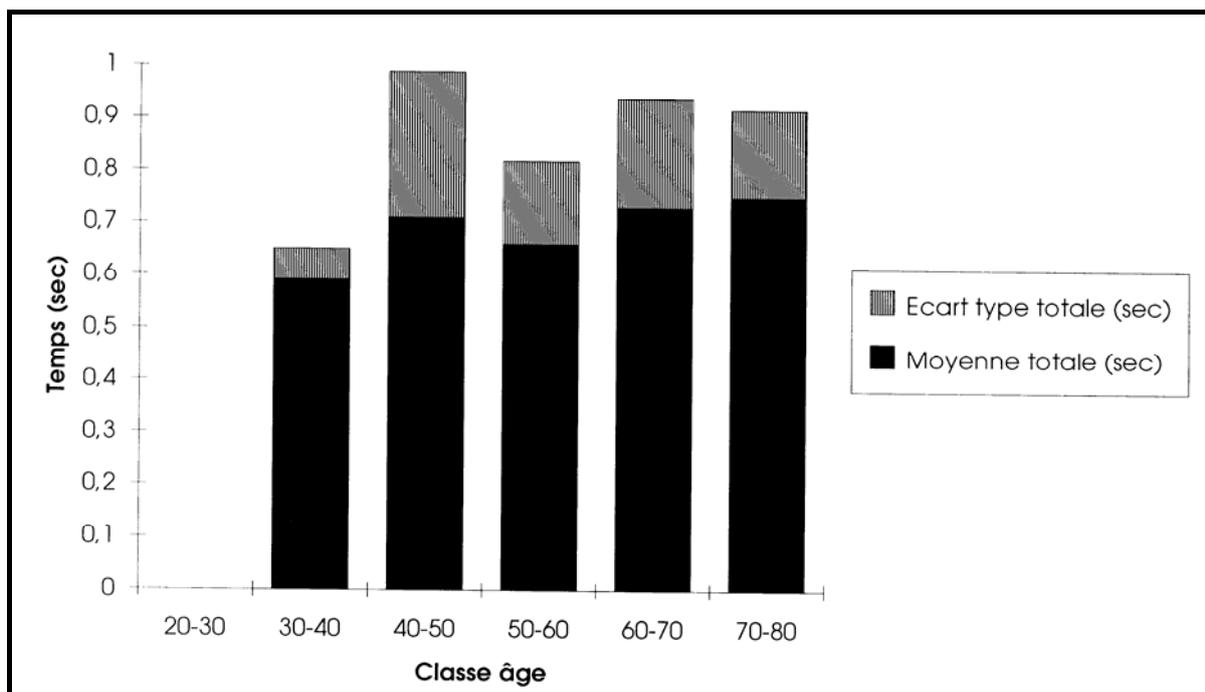


Tableau n° 14
Description du temps de réaction total (TT) sur le 2nd essai (TT2) (N = 68)

Classe âge	Moyenne totale (sec)	Ecart type totale (sec)	N
20-30	-	-	-
30-40	0.59	0.06	8
40-50	0.71	0.28	14
50-60	0.66	0.16	13
60-70	0.73	0.21	16
70-80	0.75	0.17	8

Figure n° 13
Description du temps de réaction total (TT) sur le 2nd essai (TT2) (N = 68)



Le tableau n° 12 et la figure n° 13 représente le temps de réponse global en tâche triple second essai (TT2), c'est à dire la durée entre le début de l'émission du signal sonore et le premier point d'application sur la pédale de frein. Le temps total est équivalent à la somme du temps primaire (TR1) et secondaire (TR2). Il s'échelonne de 0.59 s sur la classe d'âge 30-40 ans à 0.75 s sur la classe d'âge 70-80 ans. Sur l'essai 1 il s'échelonne de 0.58 s sur la classe d'âge 30-40 ans à 0.76 s sur la classe d'âge 60-70 ans. Ici l'effet essai ne semble pas flagrant. Jusqu'à présent, nous avons vu qu'en attention focalisée et partagée (tâche double), les sujets âgés augmentaient leurs performances de temps de réponses sur l'essai 2. Alertés, leur temps de réactions était plus rapides. En tâche triple, ce n'est pas le cas. On ne note pas de diminution des temps de réponses entre l'essai 1 et 2. Les temps de réponses sont à peu près identiques. Ce phénomène peut signifier que la tâche ajoutée (conversation) est une surcharge relativement importante qui ne permet pas au conducteur âgé de réaliser des temps de réponses plus courts en préalerte. Si précédemment, nous avons cerné que l'une des tâches devenait automatisée après le 1^{er} essai, ce qui entraînait un temps de réaction plus court sur le second essai en préalerte, nous notons qu'en tâche triple, cet effet préalerte n'existe plus. Avec deux tâches ajoutées, le conducteur n'obtient pas de temps de réponses de plus courtes durées. L'effet préalerte n'existe plus.

Tableau n° 16

Description du temps de réaction primaire (TR1) sur TT2 2nd essai (N = 68)

TR1 = temps de réaction primaire

Classe âge	Moyenne TR1 (sec)	Ecart type TR1 (sec)	N
20-30	-	-	-
30-40	0.345	0.04	8
40-50	0.45	0.28	14
50-60	0.36	0.15	13
60-70	0.37	0.21	16
70-80	0.47	0.14	8

Figure 15
Description du temps de réaction primaire (TR1) sur TT2 2nd essai (N = 68)

TR1 = temps de réaction primaire

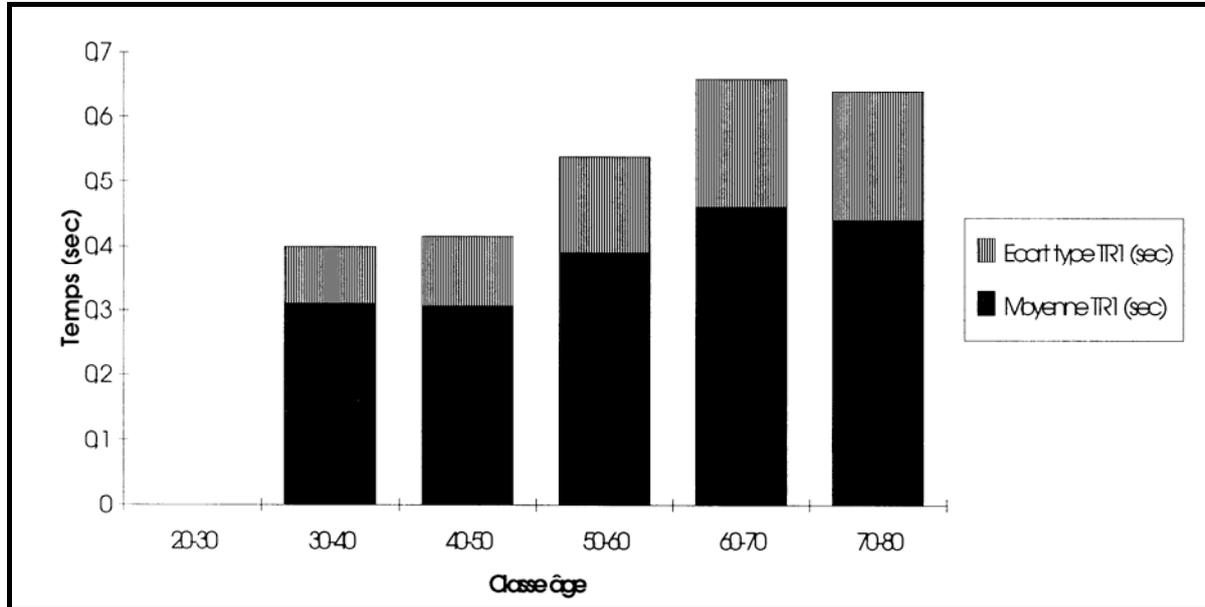


Tableau n° 17
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TT1 1^{er} essai (N = 61) et le 2nd essai (N = 68)

TR2 = temps de réaction secondaire

Classe âge	Moyenne TR2 (sec) 1 ^{er} essai	Ecart type TR2 (sec) 1 ^{er} essai	N
20-30	-	-	-
30-40	0.27	0.07	10
40-50	0.36	0.41	13
50-60	0.28	0.09	14
60-70	0.297	0.068	16
70-80	0.255	0.104	8
Classe âge	Moyenne TR2 (sec) second essai	Ecart type TR2 (sec) second essai	N
20-30	-	-	-
30-40	0.24	0.05	8
40-50	0.26	0.08	14
50-60	0.29	0.09	13
60-70	0.36	0.21	16
70-80	0.27	0.05	8

Figure 16
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TT1 1^{er} essai (N = 61)

TR2 = temps de réaction secondaire

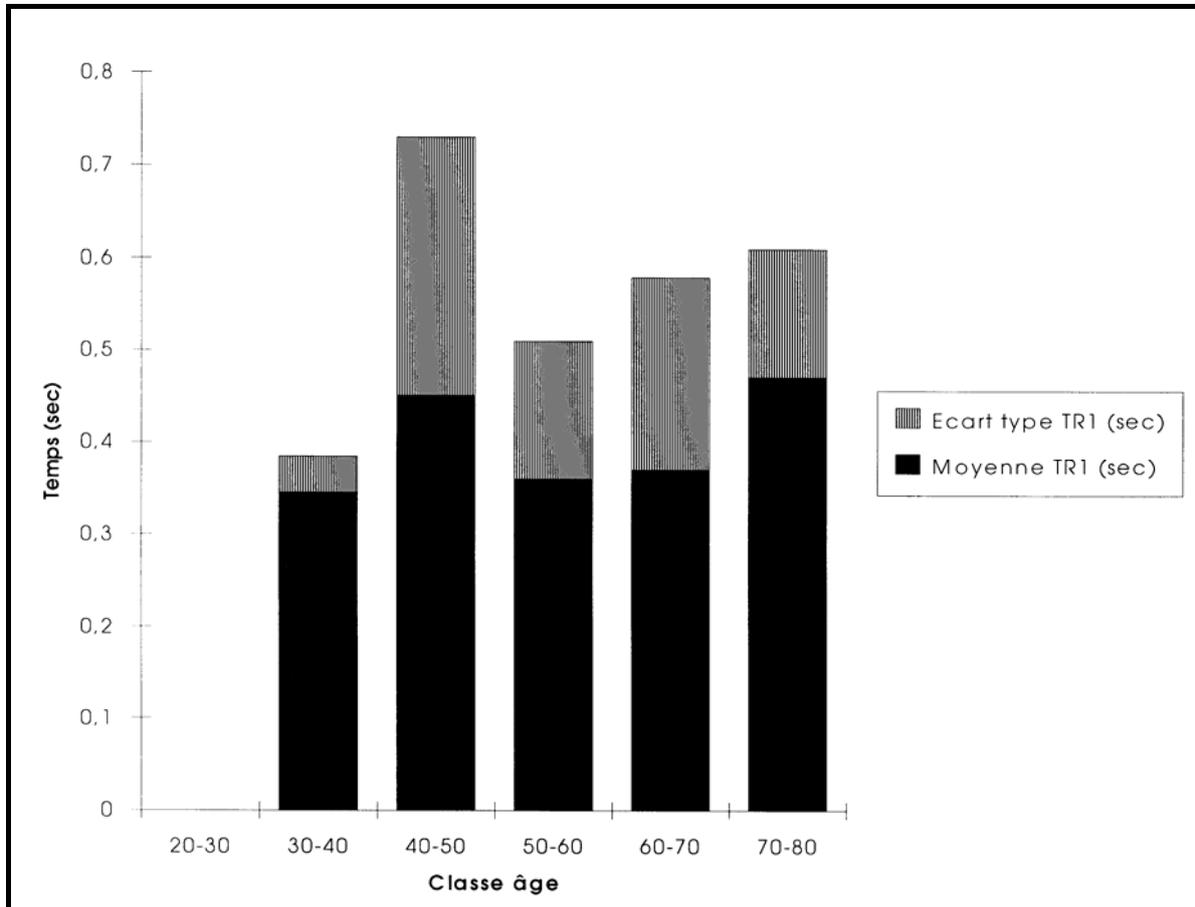
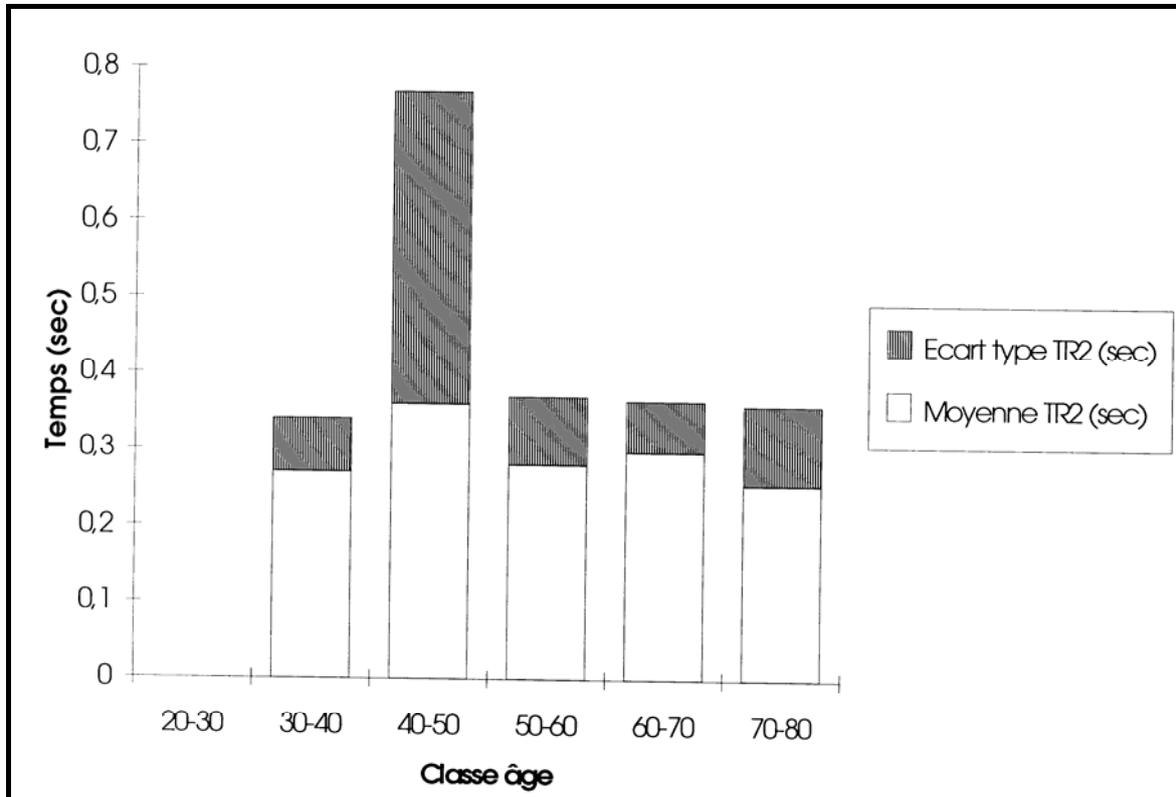


Figure 17
Description du temps de réaction secondaire (TR2) sur TT2 2nd essai (N = 68)

TR2 = temps de réaction secondaire



En résumé, si on visualise les figures 16 et 17, nous pouvons dire qu'en tâche triple (attention partagée) :

- * Les temps de réactions totaux (TT), primaires (TR1) et secondaires (TR2) augmentent avec l'âge sur l'essai un et second.
- * La variabilité interindividuelle des réponses sur la classe d'âge 40-50 ans est importante sur le premier essai.
- * Les temps de réactions primaires (TR1) sont plus longs que les temps de réactions secondaires (TR2) et croissent avec l'âge. Si on visualise le temps de réaction secondaire correspondant à un mouvement (déplacement du pied de la pédale d'accélérateur sur la pédale de frein plus enfoncement de la pédale de frein), on note qu'il est moins important que le temps de réaction primaire qui correspond au temps d'identification, perception du signal.
- * Les sujets de la classe d'âge 70-80 ans compensent la diminution de leur temps de réaction primaire (TR1) par un accroissement de leur temps de réaction secondaire (TR2) comme nous l'avons déjà expliqué en tâche double.

IV.1.4 Comparaison des temps de réaction obtenus en attention focalisée (tâche simple : TS) et en attention partagée (tâche double : TD et tâche triple TT)

Nous avons dans un premier temps effectué une analyse descriptive des résultats sur les différentes tâches afin de cerner l'incidence du nombre de tâche à effectuer par le conducteur sur les temps de réactions obtenus. Dans un second temps, nous traiterons statistiquement celle-ci.

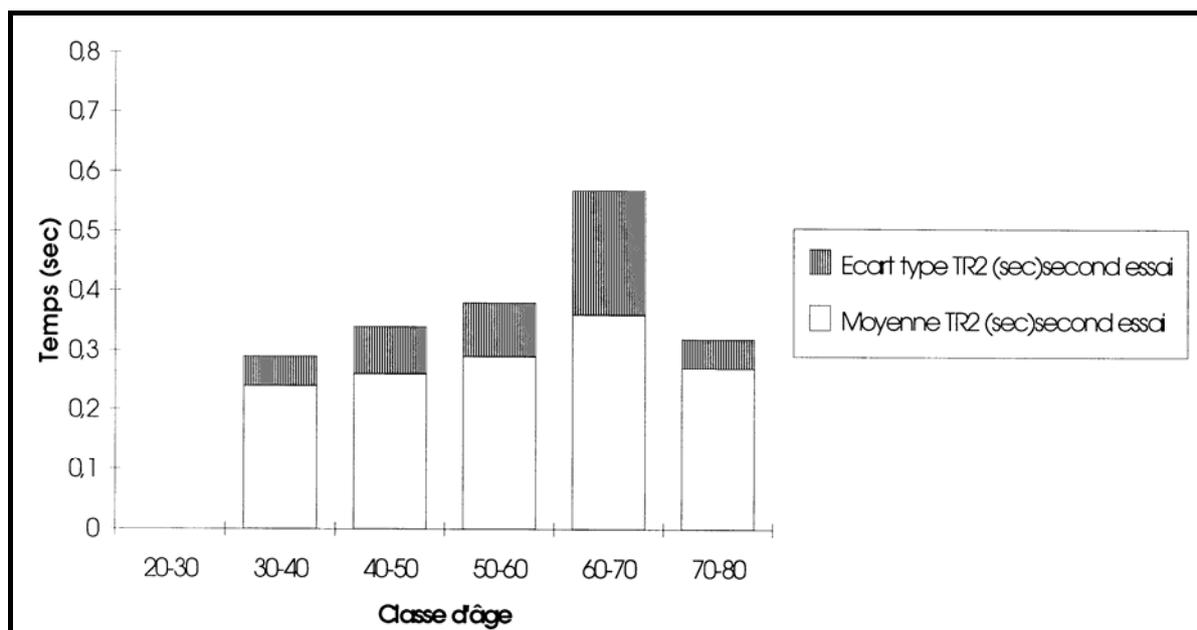
Tableau n° 18
Comparaison des temps de réaction totaux (TT) en seconde sur les trois types de tâches et les deux essais

Tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) second essai (TS2) tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1) second essai (TD2) et tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)

Tâche	TS1	TS2	TD1	TD2	TT1	TT2
N	55	72	103	107	61	68
Moyenne totale (sec)	0.7	0.55	0.75	0.62	0.68	0.69
Ecart type	0.32	0.12	0.29	0.17	0.23	0.205

Figure n° 18
Comparaison des temps de réaction totaux (TT) sur les trois types de tâches et les deux essais

Tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) second essai (TS2) tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1) second essai (TD2) et tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)



La figure n° 18 et le tableau n° 18 montre :

- * que les temps de réactions augmentent légèrement en fonction du nombre de tâche sur l'essai n° 2 lorsque le conducteur est en préalerte. Les temps de réactions en tâche simple (TS) sont moins longs que sur la tâche double (TD),
- * que les temps de réponses sur le second essai sont toujours plus courts ce qui peut signifier un phénomène d'apprentissage moteur ou une mise en mémoire du programme mouvement. Nous avons déjà expliqué ce phénomène par un état de préalerte du conducteur lors du second essai.

Précédemment, nous avons comparé de façon descriptive les résultats des temps de réponses totaux obtenus sur les deux essais en attention focalisée et en attention partagée. Nous comparons maintenant ces différents temps en les décomposant en deux temps : temps primaire et temps secondaire sur les deux essais. Cette méthode nous permet d'effectuer une étude comparative des temps de réponses primaires et secondaires.

Tableau n° 19

Comparaison des temps de réaction primaire (TR1) secondaire (TR2) sur les trois types de tâches : tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) second essai (TS2) tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1) second essai (TD2) et tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)

Tâche	TS1	TS2	TD1	TD2	TT1	TT2
N	55	72	103	107	61	68
Moyenne TR1 (sec)	0.41	0.296	0.43	0.31	0.38	0.394
Ecart type TR1	0.34	0.104	0.267	0.17	0.1	0.203
Moyenne TR2 (sec)	0.297	0.25	0.32	0.29	0.298	0.3
Ecart type TR2	0.127	0.07	0.17	0.131	0.201	0.13

Figures n° 21

Comparaison des temps de réaction secondaire (TR2) sur les trois types de tâches : tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) second essai (TS2) tâche double (TD) 1^{er} essai (TD1) second essai (TD2) et tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)

TR1 = temps de réaction primaire. TR2 = temps de réaction secondaire

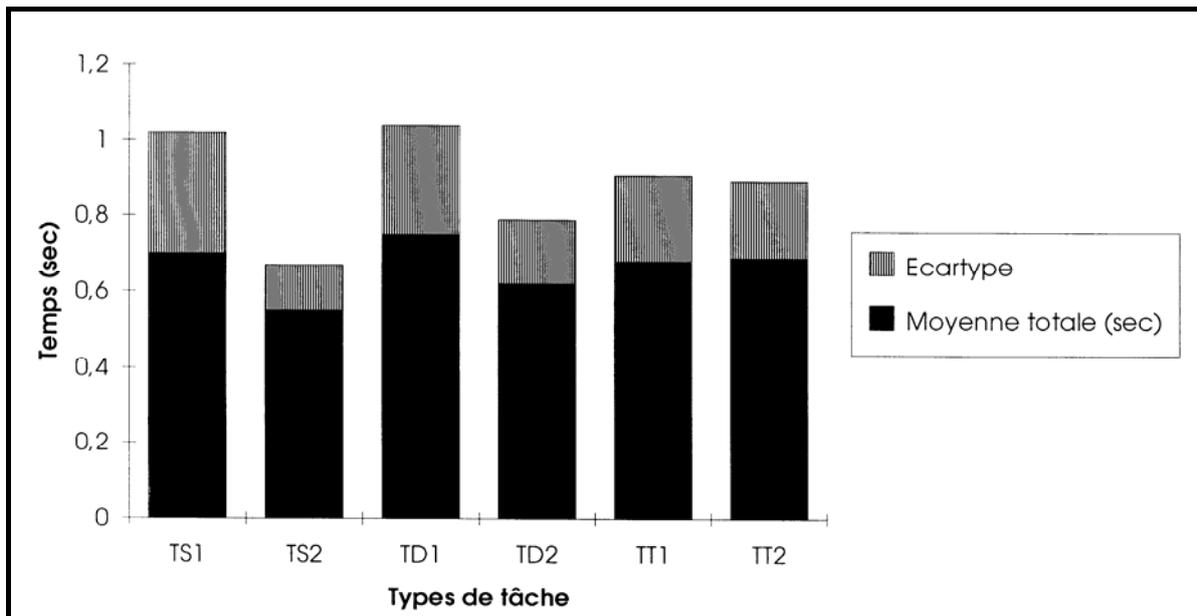
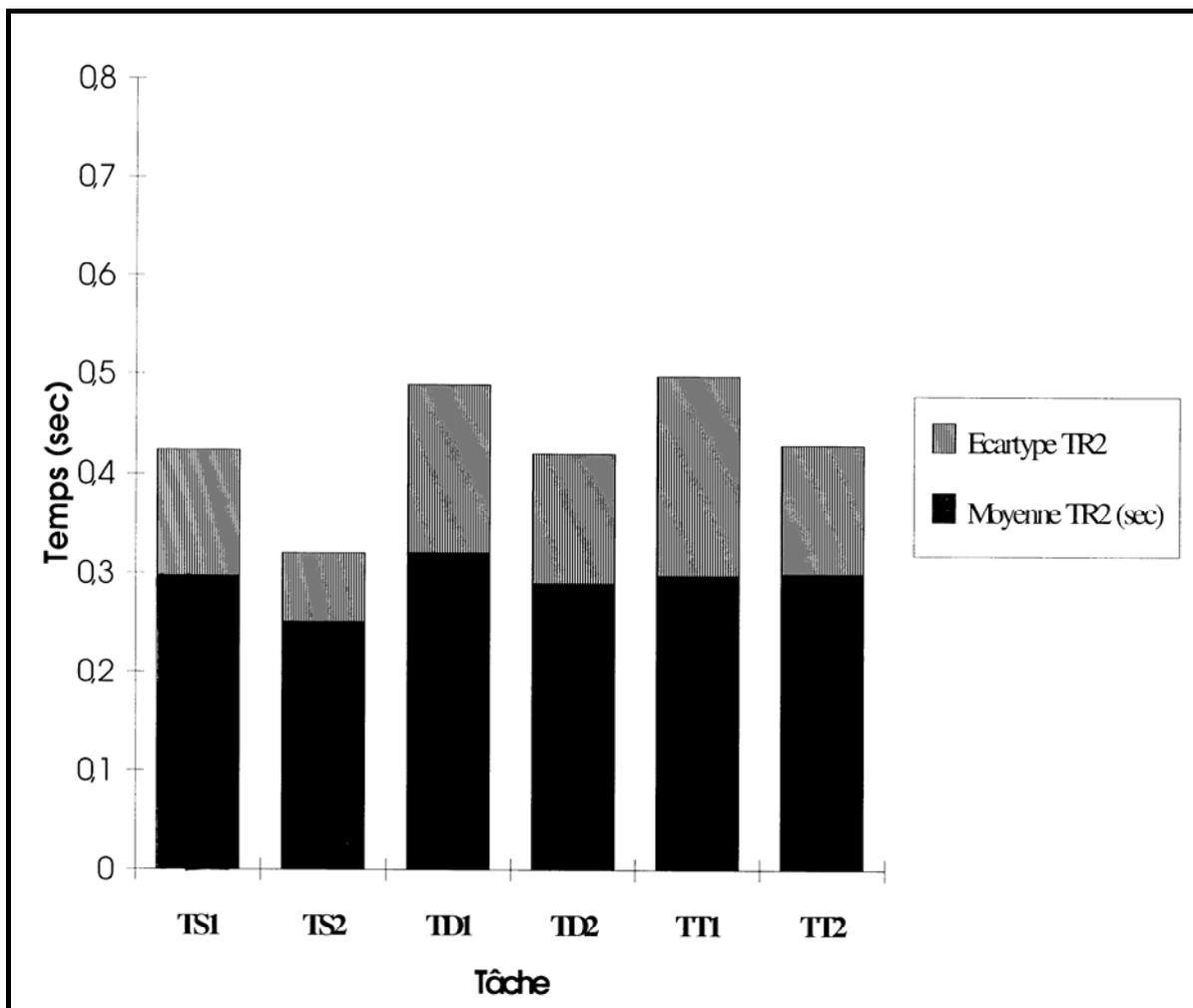


Figure n° 21 bis
Comparaison des temps de réaction primaire (TR1) sur les trois types de tâches :
tâche simple (TS) 1^{er} essai (TS1) second essai (TS2) tâche double (TD) 1^{er} essai
(TD1) second essai (TD2) et tâche triple 1^{er} essai (TT1) et second essai (TT2)

TR1 = temps de réaction primaire
 TR2 = temps de réaction secondaire



Si on compare maintenant les temps de réponses sur les différents essais et en attention partagée et focalisée, l'analyse descriptive des figures n° 21 tend à montrer :

- * que les temps de réaction primaires (TR1) et secondaires (TR2) augmentent en fonction du nombre de tâche. Les temps de réaction en tâche simple (TS) sont moins longs que sur la tâche double (TD) eux mêmes moins longs sur la tâche triple (TT),
- * que les temps de réaction sur le second essai sont toujours plus courts ce qui peut signifier un phénomène d'apprentissage moteur ou une mise en mémoire du programme mouvement. Nous avons déjà cerné ce phénomène de préalerte en attention focalisée,

- * que le temps de réaction primaire (TR1) est toujours plus long que le temps de réaction secondaire (TR2) ce qui signifie que le processus de détection du signal acoustique, identification, interprétation et premier retrait du pied de la pédale d'accélérateur est plus long que le temps du mouvement déplacement du pied de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein.

En conclusion, les résultats descriptifs tendent à démontrer que l'augmentation des tâches engendre une durée des temps de réponses des conducteurs plus importante. Autrement dit en attention partagée, les temps de réponses sont plus longs. Mais nous aurions pu nous attendre à de plus grandes différences de temps de réponses. Même si la différence sera prouvée statistiquement, on peut néanmoins se poser la question de la validité de la différence des temps de réactions par rapport à la tâche supplémentaire à accomplir. La tâche ajoutée (maintien de véhicule sur la trajectoire, sur simulateur) semble être faible.

Par ailleurs, nous avons relevé que le vieillissement engendre un ralentissement des réponses sensori-motrices. Enfin, nous avons détecté un effet de préalerte. Les temps de réponses sur le second essai sont en effet toujours de plus courtes durées que sur l'essai 1.

Il nous fallait vérifier ces résultats de façon statistiques d'où la partie suivante.

IV.2 Traitements statistiques

IV.2.1 Variabilité intra individuelle

Nous avons dans un premier temps considéré 44 sujets ayant passé les 4 situations en attention partagée et en attention focalisée (TS1, TS2, TD1 et TD2) afin de voir s'il existait une différence intra individuelle en fonction de l'essai et de la tâche. Nous n'avons pas pris en compte la triple tâche afin de ne pas réduire notre effectif.

Au préalable, nous avons testé s'il existait une différence significative au niveau de l'ordre de passation TS-TD (1) et TD-TS (2). Nous n'avons pas trouvé de différence statistiquement significative. (Voir annexe 10) Ce phénomène signifie que l'ordre de passation n'a aucune incidence sur la durée des temps de réponses des conducteurs.

Dans un second temps, nous avons effectué la différence des temps obtenus sur la tâche simple sur le 1^{er} essai (TS1) et sur le second essai (TS2), entre la tâche double 1^{er} essai (TD1) et second essai (TD2) pour chaque sujet et sur la moyenne des différences et ce pour les trois temps enregistrés (primaire, secondaire, total). Nous avons également calculé cette différence sur les deux types de tâches (TS et TD) et sur les deux essais. (Voir annexe 10).

Nous avons par conséquent comparé la différence intra individuelle des temps de réactions essai 1 - essai 2 sur les tâches simples et doubles sur des variables appareillées. Nous avons calculé le $t = \text{moyenne des différences} / \text{écart type total de la population} / \text{racine } N$. Le ddl = $N - 1$. Ce t de student sur des variables appareillées permet de tester l'hypothèse $H_0 : D = 0$ où D représente la moyenne des écarts entre l'essai 1 et 2 (les écarts étant calculés sujet par sujet).

En cas de rejet de H_0 , on conclue à un effet n° d'essai : l'essai 1 n'est pas équivalent à l'essai 2. Ce test est de même nature que le t de student classique sur variables non appariées. Il s'agit dans les deux cas de comparer la moyenne obtenue à l'essai 1 à celle obtenue à l'essai 2. Cependant dans le t de student classique, on ne tient pas compte du fait qu'un même sujet a réalisé les deux essais. De plus, une grande variabilité inter individuelle pourrait rendre cette comparaison difficile. L'avantage du t de student apparié est qu'il travaille sur l'écart en intra sujet et qu'il s'affranchit des différences interindividuelles.

La règle de décision du test est la suivante à savoir :

- * si $t \text{ calculé} < t \text{ lu}$ dans la table alors la moyenne totale des différences intra individuelles de $t_x = t_y$.

Tableau n° 20

Description de la variabilité intra individuelle sur les deux tâches simples (1^{er} et second essai) et double (1^{er} et second essai)

TTTS1-TTTS2 : moyenne des différences intra individuelles temps réaction totale de tous les sujets sur TS 1 moins le temps total sur TS2

TTTD1-TTTD2 : moyenne différence intra individuelles temps réaction totale de tous les sujets sur TD1 moins le temps total sur TD2

TTTS1-TTTD1 : moyenne différence intra individuelles temps réaction totale de tous les sujets sur TS1 moins le temps total sur TD1

TTTS2-TTTD2 : moyenne différence intra individuelles temps réaction totale de tous les sujets sur TS2 moins le temps total sur TD2

N = 44	Moyenne des différences (sec)	Ecart type	t calculé	t lu	décision
TTTS1-TTTS2	0.11	0.27	2.79	2.021	rejetée Significatif
TTTD2-TTTD1	0.13	0.16	5.18	2.021	rejetée Significatif
TTTS1-TTTD1	-0.05	0.28	-1.2	2.021	acceptée (différence nulle)
TTTS2-TTTD2	0.23	0.19	7.97	2.021	rejetée Significatif

On note dans le tableau n° 20 qu'il existe une différence intra individuelle en attention focalisée entre l'essai 1 (TS1) et l'essai 2 (TS2) sur la moyenne totale des différences des temps de réaction. Les résultats pour chaque sujet sont donnés en annexe 10 dans le "tableau de la reproductibilité des essais". Il existe par conséquent un effet d'apprentissage de l'essai 1 à l'essai 2. Ce phénomène nous amène à penser que le **1^{er} essai met le conducteur dans un état de préalerte**. En effet, lors du premier essai, le conducteur perçoit, identifie et interprète le message auditif. Il active alors le programme moteur correspondant au mouvement de freinage. Lors du second essai, le programme moteur a déjà été activé et mémorisé. Par conséquent, le temps primaire (TR1) est plus rapide. D'autre part, le conducteur a déjà reconnu le signal auditif ce qui implique une reconnaissance plus rapide de celui-ci lors du second essai.

Une ANOVA sur l'ensemble des sujets et des tâches a confirmé cette différence significative entre l'essai 1 et 2 ($P = 0.011$).

Par ailleurs, il existe une différence significative intra individuelle sur la moyenne des temps de réponses totaux en tâche simple et en tâche double sur le second essai. L'augmentation des tâches (soit la tâche ajoutée maintien de trajectoire) entraînerait par conséquent une augmentation des temps de réactions obtenus en préalerte sur le second essai. Par contre, la tâche ajoutée n'a pas de conséquence sur les temps de réactions sans préalerte. Il n'existe pas en effet de différence significative entre la tâche simple 1^{er} essai (TS1) et la tâche double 1^{er} essai (TD1) au niveau des temps de réponses des conducteurs. En conclusion, l'effet préalerte existe en attention focalisée et en attention partagée.

IV.2.2 Analyse de la première commande active : temps primaire de réaction (TR1) en attention focalisée et partagée sur les deux essais

Abréviations dans les fichiers statistiques

H = 1, F = 2, S = sexe, C = classe âge, tâche = tâche simple (1), tâche double (2), tâche triple (3), Essai = 1^{er} (1) second (2), E = enfoncement, TR1 = temps primaire, TR2 = temps secondaire, TT = temps total

Au préalable à tous traitements statistiques, nous avons vérifié que les résultats sur les temps de réactions primaires (TR1) suivaient bien une loi normale (voir histogramme annexe 11). Ce fait s'avère exact. La moyenne totale sur tous les sujets pour l'ensemble des tâches (simple, double, triple) 1^{er} et second essai égale à 0.38 s. ($\Sigma = 0.23$).

Nous avons effectué une analyse de variance (ANOVA) multifactorielle simple afin de cerner l'effet du sexe, de l'âge (6 classes : 20-30 ans = 1, ..., 70-80 ans = 6) de l'essai (1 ou 2) et de la tâche (simple (1), double (2), triple (3)) sur la variable dépendante temps de réaction primaire (TR1) soit le temps correspondant à l'identification du signal et au premier mouvement de retrait de la pédale d'accélérateur. Cette analyse de variance prend en considération le fait que tous les sujets n'aient pas passé toutes les situations (TS1, TS2, TD1, TD2, TT1, TT2).^{*1}

¹ Exécution pratique des calculs : soit 1,2...i...p les modalités du facteur contrôlé A, ni le nombre de répétitions de la modalité i, c'est à dire le nombre de résultats expérimentaux obtenus pour cette modalité, $N = n_1 + n_2 + \dots + n_p$ le nombre total des résultats. Les termes de l'équation d'analyse de variance pour des n_i inégaux se calculent de la façon suivante : $QT = \sum_i \sum_\alpha (x_{i\alpha} - \bar{x})^2$, \sum_α désigne la somme par colonnes et $\sum_i \sum_\alpha$ la somme totale.

Table n° 1
Analyse de variance global sur les temps de réaction primaires

Analysis of variance TR1 sexe tâche simple double triple essai					
Experimental sums of squares Covariates entered first					
source of variation	sums of squares	DF	Mean square	F	Sig of F
1.					
Mains effects	1.845	9	0.205	4.242	0.000
SEXE	0.144	1	0.144	2.977	0.085
AGE	1.158	5	0.232	4.793	0.000
Tâche	0.014	2	0.007	0.142	0.868
ESSAI	0.539	1	0.539	11.162	0.001
2.					
Way interactions	1.674	25	0.067	1.386	0.104
SEXE AGE	0.607	5	0.121	2.511	0.30
SEXE TACHE	0.018	2	0.009	0.182	0.834
SEXE ESSAI	0.044	1	0.044	0.903	0.343
AGE TACHE	0.219	10	0.022	0.453	0.919
AGE ESSAI	0.332	5	0.066	1.372	0.234
TACHE ESSAI	0.436	2	0.218	4.513	0.012
Explained	3.519	34	0.104	2.142	0.000
Residual	19.186	397	0.048		
Total	22.705	431	0.053		
432 cases were processed.					

L'analyse de variance de la table 1 vise à confirmer les analyses descriptives et à déceler quels sont les facteurs susceptibles d'avoir une incidence sur les temps de réponses des conducteurs en situation d'alerte. Cette analyse de variance révèle un effet significatif en ce qui concerne les facteurs sexe, âge et essai. L'interaction entre la tâche et l'essai est significative. Nous allons expliquer ce phénomène dans le détail.

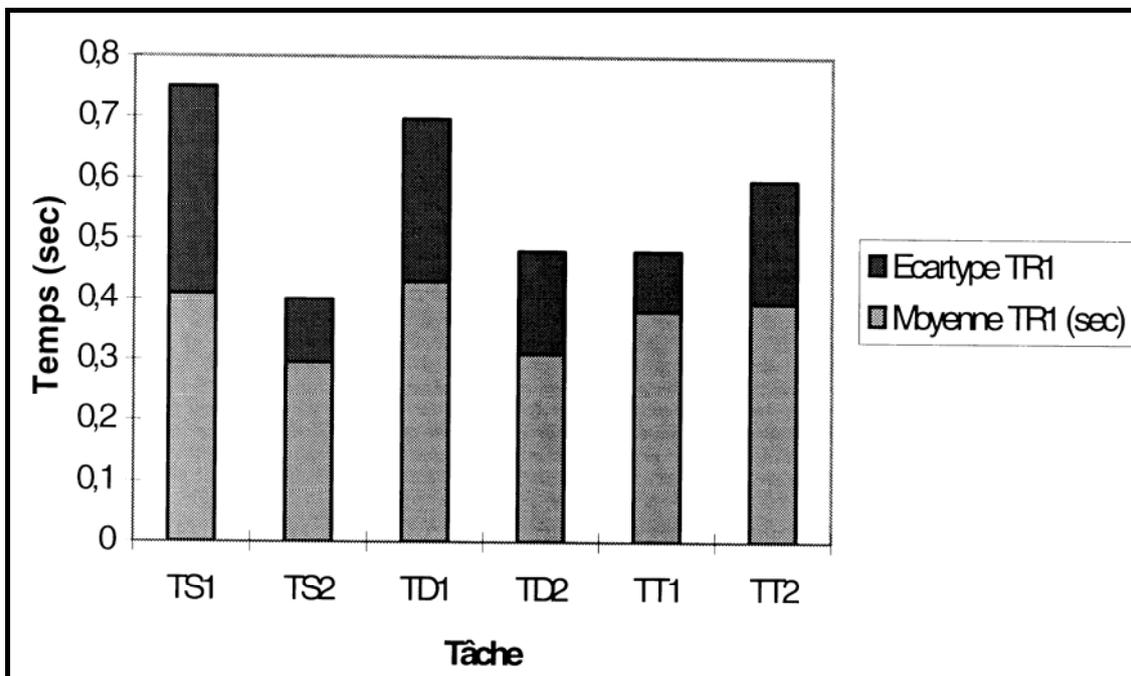
* **Effet âge**

Nous avons comparé les temps de réponses des 6 classes d'âge s'échelonnant de 20 à 80 ans afin de cerner s'il existe une modification de la durée des temps de réactions en fonction de la classe d'âge.

Tableau n° 21
Comparaison des temps de réactions primaires (TR1) en fonction de la classe d'âge

Classe d'âge	20-30 ans	30-40 ans	40-50 ans	50-60 ans	60-70 ans	70-80 ans
Moyenne TR1 (sec)	0.31	0.32	0.37	0.40	0.43	0.46
Ecart type	0.14	0.12	0.20	0.20	0.36	0.18
N	76	76	83	75	80	42

Figure n° 22
Comparaison des temps de réactions primaires (TR1) en fonction de la classe d'âge



Nous enregistrons une différence très significative (au risque d'erreur 5 %) en ce qui concerne l'âge ($P = 0.000$). La moyenne des temps de réactions primaires varie entre 0.31 s pour la classe d'âge 20-30 ($N = 76$) ans et 0.46 s pour la classe d'âge 70-80 ans ($N = 42$). La valeur Min du temps de réaction primaire enregistrée est de 0.08 sec et la valeur Max enregistrée est de 2.46 sec. Toutes les valeurs Min, Max et médianes par sujet, par classe d'âge et par temps (primaire secondaire et total) sont données en annexe 11. Ces résultats signifient que l'âge a une incidence sur le temps de réaction primaire (TR1).

Ceci confirme les résultats obtenus précédemment à savoir que plus l'âge augmente plus le temps de réaction est long au niveau de la perception du signal acoustique et du premier mouvement de retrait sur la pédale d'accélérateur.

* **Effet essai**

L'analyse de variance nous a permis de tester qu'il existe une différence significative des temps de réponses sur l'essai 1 et l'essai 2. Les temps de réponses sur l'essai 2 sont plus courts que ceux obtenus sur l'essai 1.

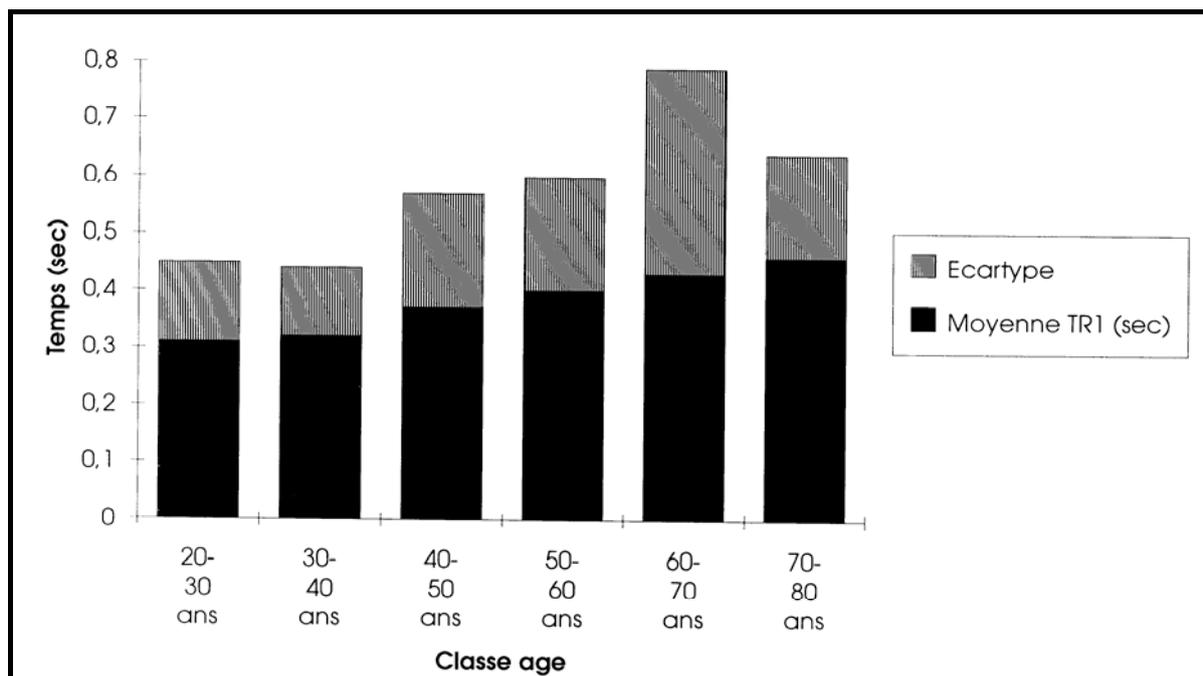
Tableau n° 22

Comparaison des temps de réactions obtenues sur l'essai 1 et sur l'essai 2 sur la tâche primaire (TR1) sur l'ensemble des tâches

ESSAI	1	2
Temps de réaction TR1 (sec)	0.41	0.35
N	202	230

Figure n° 23

Comparaison des temps de réactions obtenues sur l'essai 1 et sur l'essai 2 sur la tâche primaire (TR1) sur l'ensemble des tâches



Nous enregistrons une différence très significative (au risque d'erreur 5 %) en ce qui concerne l'essai (1^{er} ou second) ($P = 0.001$). Le second essai est toujours de plus courte durée que le premier ce qui s'explique par le fait que celui-ci puisse être considéré comme un message de préalerte. Il existe par conséquent un effet d'apprentissage de l'essai 1 à l'essai 2.

Ce phénomène nous amène à penser que le **1^{er} essai met le conducteur dans un état de préalerte.**

En effet, lors du premier essai, le conducteur perçoit, identifie et interprète le message auditif. Il active alors le programme moteur correspondant au mouvement de freinage.

Lors du second essai, le programme moteur a déjà été activé et mémorisé. Par conséquent, le temps primaire (TR1) est plus rapide. D'autre part, le conducteur a déjà reconnu le signal auditif ce qui implique une reconnaissance plus rapide de celui-ci lors du second essai.

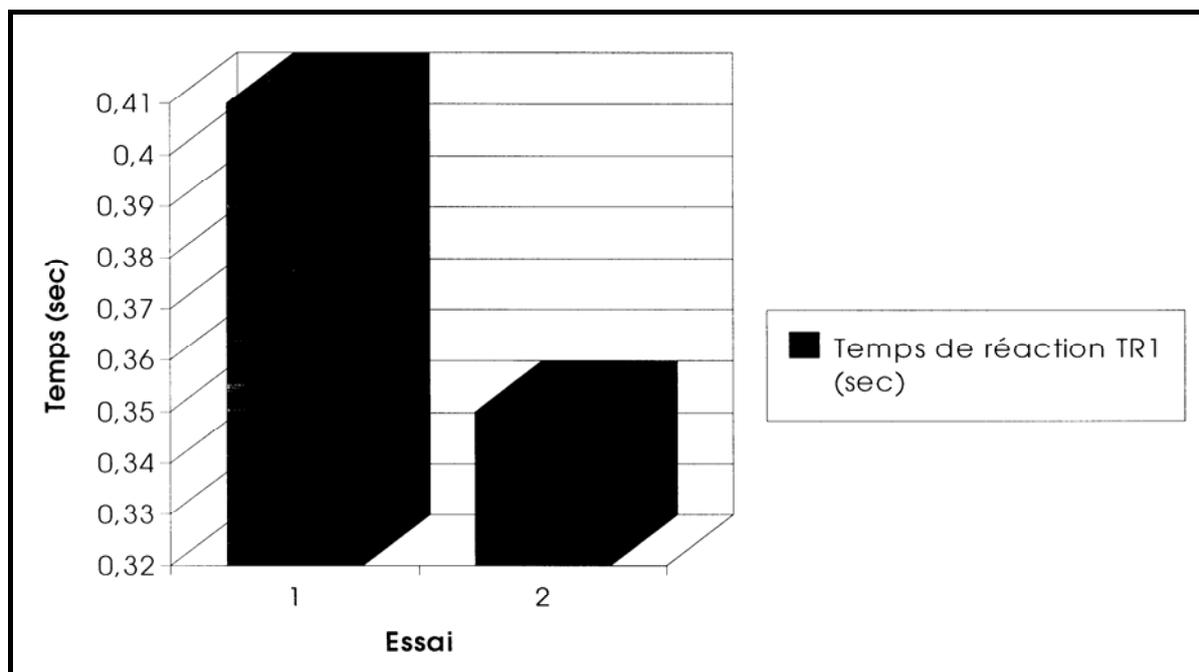
* Interaction tâche et essai

Nous avons comparé les temps de réponses obtenus en attention focalisée et en attention partagée en fonction de l'essai (1 ou 2) et nous avons enregistré une différence significative ($P = 0.012$). Il existe par conséquent une augmentation des temps de réponses en fonction du nombre de tâche et de l'essai que nous allons analyser.

Tableau n° 23
Comparaison des temps de réaction primaire moyen en fonction de l'attention (focalisée ou partagée) et en fonction de l'essai (1 ou 2)

TR1	ESSAI			
	moyenne essai 1	N1	moyenne essai 2	N2
simple (TS)	0.41 s	55	0.30 s	47
double (TD)	0.43 s	107	0.32 s	101
triple (TT)	0.35 s	40	0.41 s	82

Figure n° 24
Comparaison des temps de réaction primaire en fonction de l'attention (focalisée ou partagée) et en fonction de l'essai (1 ou 2)



Sur la figure n° 24 et dans le tableau n° 23, nous remarquons les faits suivants.

Les temps de réponses primaires (TR1) enregistrés sur le second essai en tâche simple sont plus courts que ceux enregistrés en tâche double, temps eux mêmes plus courts que ceux enregistrés en tâche triple. Ce phénomène ne peut s'expliquer par un effet d'ordre, nous avons vu qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative. L'interaction essai et tâches est significative au risque d'erreur 5 % à 0.012. (Voir résultats annexe 11).

Nous en concluons donc qu'**en attention partagée, la tâche ajoutée augmente la durée des temps de réactions primaires.**

Néanmoins, on remarque que les temps enregistrés sur la tâche triple sont inférieurs à ceux enregistrés sur la tâche double en ce qui concerne le 1^{er} essai. Si l'effet de la tâche ajoutée par la conversation en tâche triple second essai est validé, il ne l'est pas sur l'essai 1.

Plusieurs interprétations de la non augmentation de la durée des temps de réponses sur le 1^{er} essai en triple tâche sont possibles :

1. Ce phénomène pourrait s'expliquer de la façon suivante. Les deux premières tâches (suivi de trajectoire et stimulus réponse sur la pédale). peuvent être considérées comme des tâches nécessitant plus d'attention alors que le langage, lui, s'engage naturellement. La tâche de conversation est plus naturelle donc plus automatisée et demande moins d'attention au conducteur. Elle peut être considérée comme une tâche ajoutée ne créant pas de "surcharge" jusqu'à un certain niveau de charge.
2. L'autre hypothèse plausible est la suivante. Sur l'essai 1 il existe un phénomène **d'apprentissage** entre la tâche double et la tâche triple. Ce phénomène peut être lié au fait que les sujets passaient systématiquement la tâche double après la tâche triple. Le sujet en situation de premier essai serait dans un état de préalerte comme nous l'avons défini précédemment. Mais alors logiquement, le temps de réponse en tâche triple devrait être de plus courte durée sur le second essai. Ce n'est pas le cas. C'est pourquoi, il semblerait plausible de conclure à un biais méthodologique sur la tâche ajoutée n° 1 en tâche triple.

En fait, l'obstacle sur le circuit s'avère relativement prévisible selon le dire des sujets en ce qui concerne le 1^{er} essai. On peut donc considérer que le phénomène d'apprentissage couplé à celui d'une préalerte importante sur le premier essai engendre des temps de réponses rapides. Ce qui expliquerait pourquoi les temps de réponses obtenus sur le 1^{er} essai en tâche triple sont inférieurs à ceux obtenus en tâche double second essai.

IV.2.3 Analyse du temps secondaire de réaction (TR2) en attention focalisée et partagée sur les deux essais

Il s'agit ici d'analyser quels sont les facteurs susceptibles d'avoir une incidence sur la durée des temps de réponses secondaires des conducteurs en situation d'alerte.

Abréviations dans les fichiers statistiques

H = 1, F = 2, S = sexe, C = classe âge, tâche = tâche simple (1), tâche double (2), tâche triple (3), Essai = 1^{er} (1) second (2), E = enfoncement, TR1 = temps primaire, TR2 = temps secondaire, TT = temps total

Au préalable, nous avons vérifié que les résultats sur les temps de réactions secondaires (TR2) suivaient bien une loi normale (voir histogramme annexe 11). Ce phénomène s'avère exact. La moyenne totale sur tous les sujets pour l'ensemble des tâches (simple, double, triple) 1^{er} et second essai est de 0.30 s. (Sigma = 0.15) soit un temps inférieure au temps primaire (0.38 s).

Nous avons effectué une analyse de variance (ANOVA) multifactorielle simple afin de cerner l'effet du sexe, de l'âge (6 classes : 20-30 ans = 1,...70-80 ans = 6) de l'essai (1 ou 2) et de la tâche sur la variable dépendante temps de réaction secondaire (TR2) soit le temps correspondant au mouvement du pied de la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein et à son premier point d'application. Nous avons pris en compte la covariable niveau d'enfoncement à l'émission du signal auditif afin de vérifier s'il existait un effet sur le temps de réaction secondaire en fonction du niveau d'enfoncement X.

Table n° 2
Analyse de variance total des temps de réactions secondaires

Analysis of variance					
TR2 SEXE AGE ESSAI TACHE with Enfoncement Experimental sums of squares Covariates entered First					
source of variation	sums of squares	DF	Mean square	F	Sig of F
Covariates	0.022	1	0.022	1.041	0.308
Enfoncement	0.022	1	0.022	1.041	0.308
Mains effects	1.029	9	0.114	5.343	0.000
SEXE	0.469	1	0.469	21.913	0.000
AGE	0.325	5	0.065	3.037	0.011
ESSAI	0.040	1	0.040	1.866	0.173
TACHE	0.125	2	0.062	2.910	0.056
Way interactions	0.608	25	0.024	1.137	0.297
SEXE AGE	0.101	5	0.020	0.948	0.450
SEXE ESSAI	0.052	1	0.052	2.451	0.118
SEXE TACHE	0.017	2	0.008	0.391	0.677
AGE ESSAI	0.069	5	0.014	0.644	0.666
AGE TACHE	0.369	10	0.037	1.725	0.073
ESSAI TACHE	0.007	2	0.004	0.167	0.847
Explained	1.659	35	0.047	2.216	0.000
Residual	8.471	396	0.021		
Total	10.130	431	0.024		

La table n° 2 d'analyse de variance sur le temps de réaction secondaire (TR2) révèle une différence significative en ce qui concerne les facteurs sexe, âge et essai. Nous allons analyser ces différences dans le détail ci-dessous.

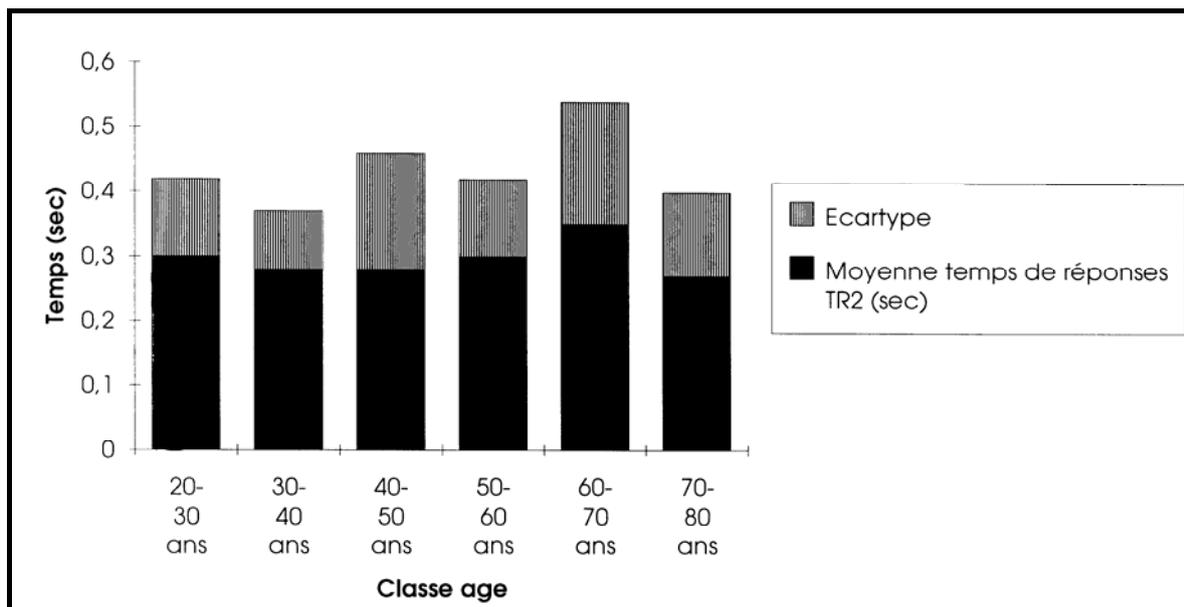
*** Effet âge**

Nous avons comparé les temps de réponses des 6 classes d'âge s'échelonnant de 20 à 80 ans afin de cerner s'il existe une modification de la durée des temps de réactions en fonction de la classe d'âge. Comme effets principaux qui expliquent la différence des temps de réponses, nous enregistrons une différence significative (au risque d'erreur 5 %) en ce qui concerne l'âge ($P = 0.011$). La moyenne des temps de réactions varie entre 0.27 s pour la classe d'âge 70-80 ans ($N = 42$) et 0.35 s pour la classe d'âge 60-70 ans ($N = 80$). Ces résultats signifient que l'âge a une incidence sur le temps de réaction secondaire (TR2). On enregistre un ralentissement des réponses sensori-motrices lié au vieillissement. On note d'ailleurs que ce ralentissement sensori-moteur est lié au vieillissement et au nombre de tâche ajoutée ($P = 0.072$).

Tableau n°24
Comparaison des temps de réactions secondaires (TR2) en fonction de la classe d'âge

Classe âge	20-30 ans	30-40 ans	40-50 ans	50-60 ans	60-70 ans	70-80 ans
Moyenne temps de réponses TR2 (sec)	0.30	0.28	0.28	0.30	0.35	0.27
Ecart type	0.12	0.09	0.18	0.12	0.19	0.13
Valeur Max	0.95	0.65	1.75	0.71	1.37	0.84
N	76	76	83	75	80	42

Figure n° 25
Comparaison des temps de réactions secondaires (TR2) en fonction de la classe d'âge



Nous notons sur la figure n° 25 qu'il existe une augmentation significative des temps de réponses secondaires liées au vieillissement. Plus l'âge augmente, plus les temps de réponses sont lents. On note également que notre échantillon de la classe d'âge 70-80 ans obtient une moyenne à peu près similaire à la classe d'âge 50-60 ans. Nous avons déjà émis l'hypothèse d'une sélection naturelle des conducteurs en ce qui concerne cette classe d'âge.

*** Effet sexe**

Nous avons testé statistiquement qu'il existait une différence significative en fonction du sexe au niveau de la durée des temps de réponses sur le temps secondaire.

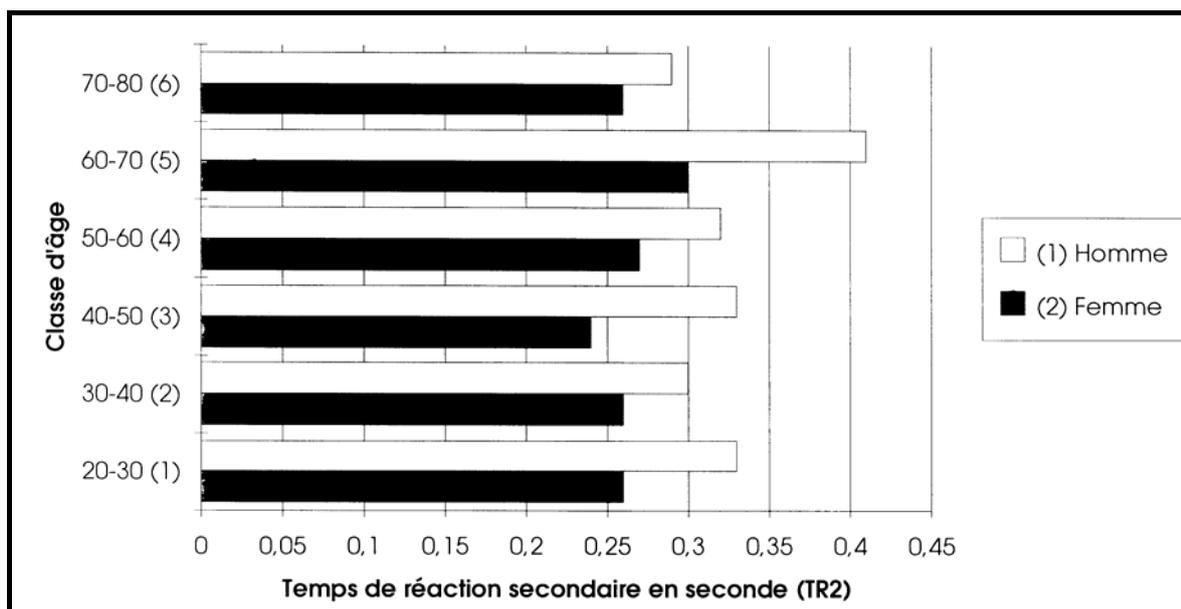
Nous enregistrons une différence très significative (au risque d'erreur 5 %) en ce qui concerne le sexe ($P = 0.000$). Les hommes ont des temps de réactions plus rapides que les femmes sur toutes les classes d'âge (voir tableau 30).

Tableau n° 25
Comparaison des temps de réaction secondaire sur l'ensemble des tâches et des sujets par sexe

Le N pour chaque classe d'âge est donné en annexe 11 dans le tableau analyse de variance sexe / classe d'âge.

Classe âge	20-30 (1)	30-40 (2)	40-50 (3)	50-60 (4)	60-70 (5)	70-80 (6)
(2) Femme	0.26	0.26	0.24	0.27	0.30	0.26
(1) Homme	0.33	0.30	0.33	0.32	0.41	0.29

Figure n° 26
Comparaison des temps de réaction secondaire sur l'ensemble des tâches et des sujets par sexe



Quelque soit la classe d'âge, on note sur la figure n° 26 que les temps de réactions secondaires (TR2) correspondant au temps de mouvement déplacement du premier point de retrait de la pédale d'accélérateur au premier point d'application sur la pédale de frein sont plus rapides pour les hommes ce qui va dans le sens des études effectuées par BLSA (voir chapitre bibliographique).

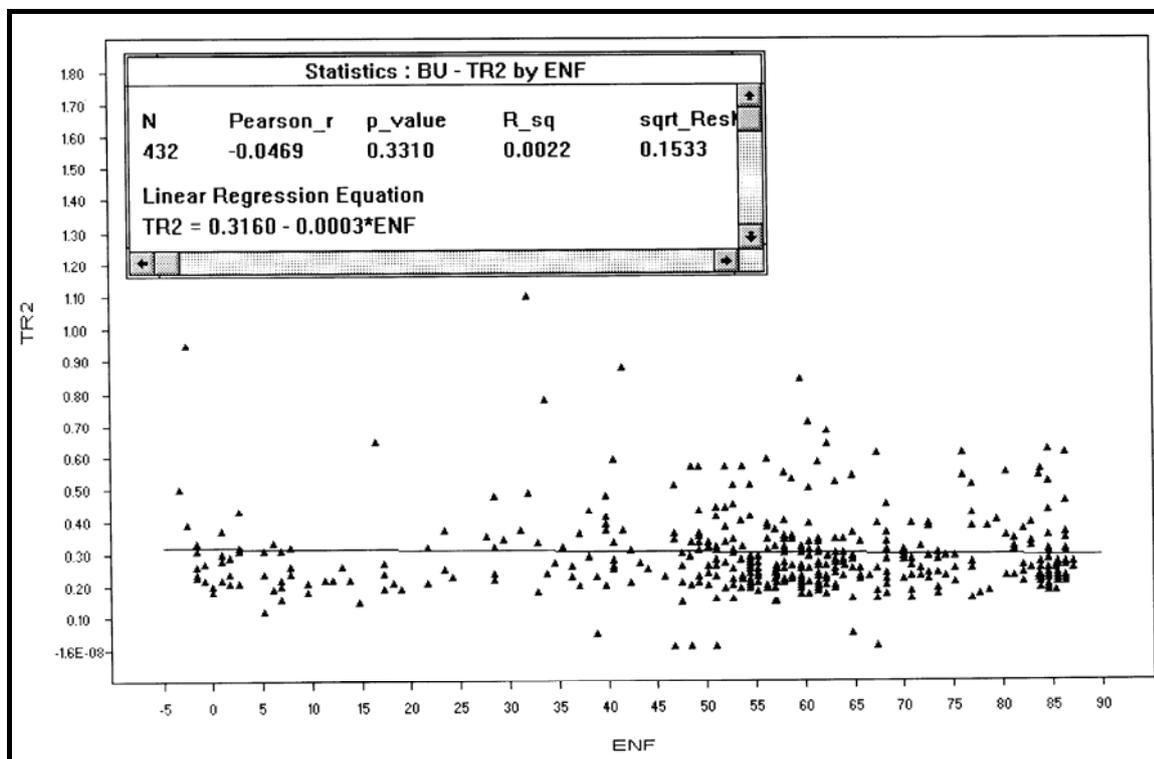
* Interaction âge et tâche

On remarque qu'il existe une interaction significative ($P = 0.007$) au risque d'erreur 5 % entre l'âge et la tâche. Ce phénomène signifie que plus l'âge et le nombre de tâches augmente plus le temps de réponse secondaire augmente. Nous avons déjà noté ce phénomène sur le temps primaire à savoir qu'en attention partagée les temps de réponses augmentent avec l'âge et le nombre de tâches à accomplir.

* Effet niveau d'enfoncement

Nous avons évalué l'incidence du niveau d'enfoncement de la pédale d'accélérateur au début de l'émission du signal sonore sur le temps de réaction secondaire par une analyse de variance avec la covariable niveau d'enfoncement à l'émission du signal auditif afin de vérifier s'il existait un effet sur le temps de réaction secondaire en fonction du niveau d'enfoncement X et nous n'avons pas trouvé de différence significative ($P = 0.308$). Nous avons également tracé la droite de régression niveau d'enfoncement à l'émission du message sonore et temps de réaction secondaire (TR2) et nous notons que quelque soit le niveau d'enfoncement de la pédale d'accélérateur ce phénomène n'entraîne pas d'augmentation du temps de réaction secondaire sauf cas extrême. Nous pouvons par conséquent en déduire que la méthode de mesure est fiable et identique pour tous nos sujets. Le temps de retour pédale n'est pas pris en compte dans le calcul des temps de réponses. (Voir droite de régression).

Droite de régression niveau d'enfoncement de la pédale d'accélérateur lors de l'émission du message auditif et temps de réaction secondaire (TR2)



IV.3 Description des différentes typologies de conducteurs à partir du questionnaire

Nous avons élaboré un questionnaire qui nous permet de connaître les "habitudes de conduite" de la population étudiée : expérience de conduite, nombre de kilomètres effectués, distance, longueur des trajets, fréquence. Tous les sujets ont répondu au questionnaire et les résultats se trouvent en annexe 9.(graphes et des traitements en % par classe d'âge).

A/ Tableaux de résultats en % sur les différentes habitudes de conduite des sujets en fonction de l'âge et du sexe

A la suite des dépouillements de questionnaire, nous avons élaboré des tableaux interclasses d'âge et inter sexe en % et ce sur chacune des questions relatives aux habitudes de conduite des conducteurs (Durée et fréquence des trajets, années conduite...). Toutes ces variables sont codifiées dans le chapitre précédent. Ces tableaux se trouvent en annexe 9 A.

B/ Histogrammes intra classe relatifs aux habitudes de conduite des sujets

A partir des tableaux obtenus ci dessus et donnés en annexe 9 A, nous avons élaboré des histogrammes intra classes d'âge sur les différentes habitudes de conduite des sujets. Ceux ci sont donnés en annexe 8.

C/ Histogrammes interclasse relatifs aux habitudes de conduite des sujets

A partir des tableaux obtenus ci dessus et donnés en annexe 9 A, nous avons élaboré des histogrammes interclasses d'âge sur les différentes habitudes de conduite des sujets. Ceux ci sont donnés en annexe 8.

V. CONCLUSION

L'objectif de cette recherche vise à la création d'une base de données des temps de réponses des conducteurs à des informations d'urgence sur un échantillon de 120 conducteurs dont la classe d'âge varie de 20 à 80 ans.

Pour cela, nous avons utilisé une méthodologie mise au point par l'INRETS. Celle-ci nous a permis de mesurer des temps de réponses sur des tâches simples (attention focalisée) et sur des tâches dites double et triple (attention partagée) sur le simulateur de conduite du LESCO. Au cours de ces trois tâches, les conducteurs devaient répondre à des messages d'alerte auditive.

En **tâche simple**, on enregistre des temps de réponse (S-R) sur la pédale de frein au signal d'urgence (attention focalisée).

En **double tâche**, en attention partagée, on enregistre des temps de réponse sur la pédale de frein au signal d'urgence en situation de conduite facile sur simulateur (tâche de maintien de trajectoire).

En **triple tâche**, on enregistre des temps de réponse (S-R) sur la pédale de frein au signal d'urgence en situation de conduite facile sur simulateur (tâche de maintien de trajectoire) pendant une tâche de conversation (attention partagée).

Ces mesures nous ont permis de distinguer trois temps de réponses.

- * **Le temps de réponse primaire** est défini comme le temps entre le début d'apparition du signal et le premier lever de pied de l'accélérateur.
- * **Le temps de réponse secondaire** est défini comme le temps entre le premier lever de pied de l'accélérateur et le début d'action sur le frein.
- * **Le temps de réponse total** est défini comme la somme de ces deux temps précédents.

L'analyse descriptive et statistique a permis de mettre en évidence plusieurs points.

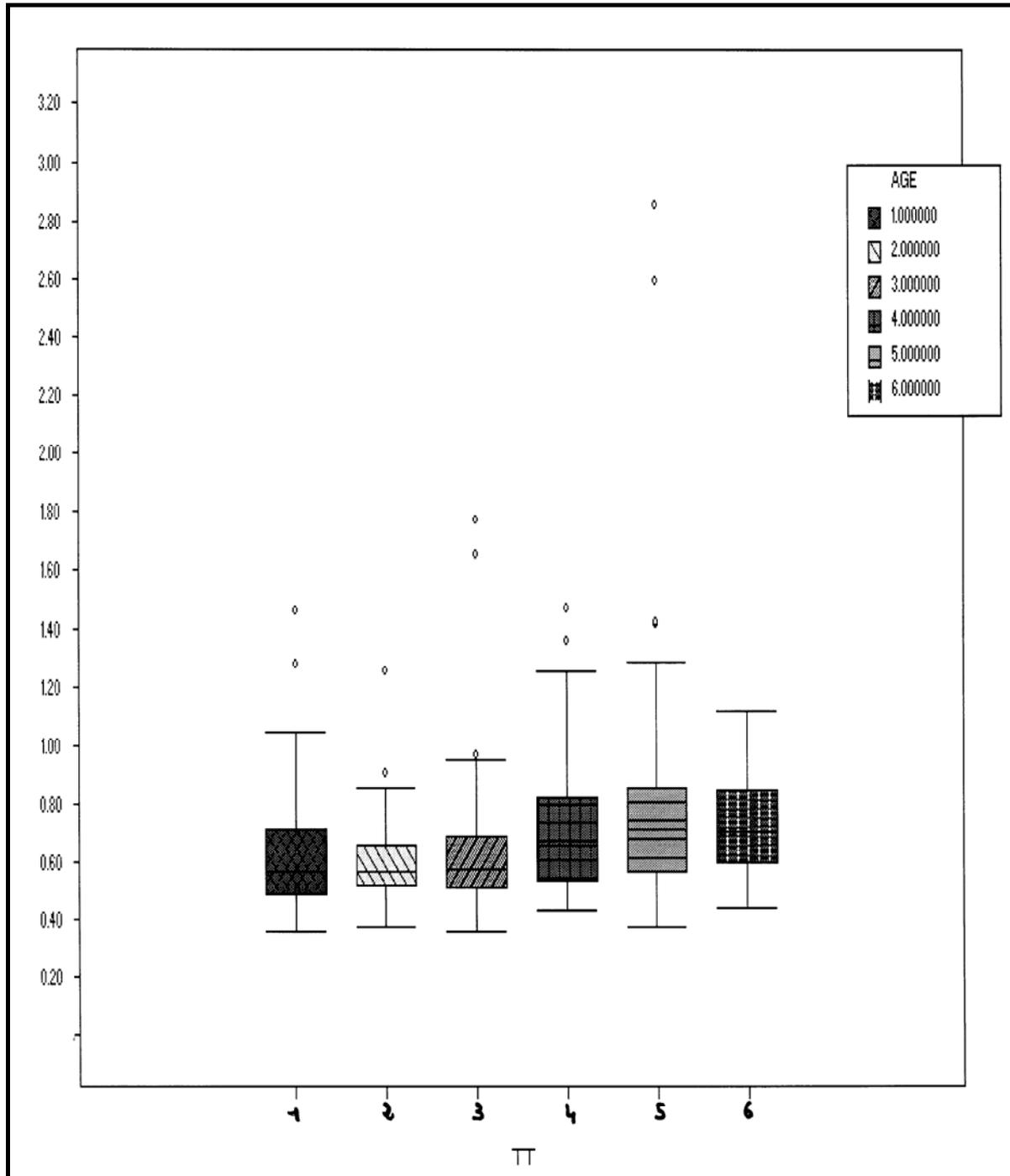
On observe un **ralentissement des réponses sensori-motrices lié au vieillissement**, La durée des temps de réaction en attention focalisée et en attention partagée croît avec le vieillissement que ce soit en attention focalisée ou en attention partagée.

Les valeurs des temps de réactions totaux toutes tâches et tous sujets confondus oscillent entre 0.36 et 2.85 sec pour notre échantillon dont la classe d'âge varie de 20 à 80 ans. Si on regroupe ces temps de réactions en 5 classes d'intervalles égaux (432 valeurs) nous obtenons les résultats suivants : 373 valeurs entre 0.36 sec et 0.86 sec, 49 entre 0.86 sec et 1.36 sec, 8 entre 1.36 sec et 1.85 sec et 2 valeurs entre 2.35 et 2.85 sec.

La figure Box plot n° 1 suivante relate les valeurs minimum et maximum ainsi que la valeur médiane des temps de réponses des conducteurs pour chaque classe d'âge.

Box plot n° 1 Valeurs min max et médiane pour chaque classe d'âge sur les temps totaux de réactions

- 1 = 20-30 ans
- 2 = 30-40 ans
- 3 = 40-50 ans
- 4 = 50-60 ans
- 5 = 60-70 ans
- 6 = 70-80 ans



Regardons maintenant les temps de réactions primaires (TR1). Rappelons que ce temps correspond à l'identification du signal acoustique, son interprétation et au premier mouvement de retrait de la pédale d'accélérateur. Ces temps de réponses ralentissent avec le vieillissement. Ce phénomène révélerait par conséquent une **dégradation des réponses sensori-motrices soit dans l'identification du signal soit dans le temps d'activation du programme moteur**. La moyenne des temps de réactions moyens primaires toutes tâches confondues (attention focalisée et attention partagée)(TR1) varie entre 0.31 s pour la classe d'âge 20-30 (N = 76) ans et 0.46 s pour la classe d'âge 70-80 ans (N = 42). La valeur Min enregistrée est égale à 0.01 sec et la valeur Max à 2.46 sec. Si on divise l'échantillon en 6 classes d'intervalles égaux nous obtenons les résultats suivants : 360 valeurs entre 0.01 sec et 0.5 sec, 65 entre 0.50 et 0.99 sec, 5 entre 0.99 et 1.48 sec, 2 entre 1.97 et 2.46 sec.

Les temps de réactions secondaires (TR2) correspondant au déplacement du pied sur la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein (1^{er} point d'application) se dégradent avec l'âge d'une façon significative (P = 0.011). **Le temps physiologique du mouvement devient plus lent avec l'âge en attention focalisée comme en attention partagée**. La valeur minimum de temps de réaction toutes tâches confondues est de 0.01 sec et la valeur maximum est de 1.75 sec. Si on divise notre échantillon en 5 classes d'intervalles égaux nous obtenons les valeurs suivantes : 347 valeurs entre 0.01 et 0.36 sec, 77 entre 0.36 et 0.71 sec, 5 entre 0.71 et 1.05 sec, 2 valeurs entre 1.05 et 1.40 sec, 1 valeur entre 1.40 et 1.75 sec.

Les temps de réactions moyens primaires à un message auditif (TR1) sont plus longs que les temps de réponses secondaires (TR2) en attention focalisée (Tâche simple : TS) et en attention partagée (tâche double et triple : TD et TT). Ce phénomène implique que **le temps primaire (TR1) correspondant à la perception du signal acoustique, identification et premier mouvement de retrait est plus important que le temps physiologique du mouvement (TR2) correspondant au déplacement du pied sur la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein (1^{er} point d'application)**. Le temps primaire (TR1) tous essais et toutes tâches confondues est égal à 0.38 s (sigma = 0.23 s), le temps secondaire (TR2) tous essais et toutes tâches confondues est égal à 0.30 s (sigma = 0.15 s).

Les hommes ont des temps de réaction plus rapides que les femmes quelque soit la classe d'âge et le type de tâche (attention focalisée ou partagée) sur le temps secondaire (TR2) correspondant au déplacement du pied sur la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein (1^{er} point d'application) (P = 0.000). Par contre, on enregistre aucune différence liée au sexe sur le temps primaire correspondant à la perception, identification du signal acoustique et premier mouvement de retrait de la pédale d'accélérateur. **Seul le temps de mouvement est plus lent que les hommes avec l'âge**.

Il existe un **effet** essai - apprentissage et/ou **préalerte**. Les temps de réactions sont plus rapides sur le second essai (différence significative (au risque d'erreur 5 %) (P = 0.001)). Le second essai est toujours de plus courte durée que le premier. Il existe par conséquent un effet d'apprentissage de l'essai 1 à l'essai 2. Ce phénomène nous amène à penser que **le 1^{er} essai met le conducteur dans un état de préalerte**. En effet, lors du premier essai, le conducteur perçoit, identifie et interprète le message auditif. Il active alors le programme moteur correspondant au mouvement de freinage. Lors du second essai, le programme moteur a déjà été activé et mémorisé. Par conséquent, le temps primaire (TR1) est plus rapide.

D'autre part, le conducteur a déjà reconnu le signal auditif ce qui implique une reconnaissance plus rapide de celui-ci lors du second essai. Ce phénomène a déjà été relevé par des auteurs comme **Staplin, Janoff et Decina** (1985) qui ont montré que les temps de réaction sur des tâches de conduite automobile au freinage diminuaient si les réponses étaient anticipées.

D'autre part, en attention focalisée et en tâche double, nous avons noté que les conducteurs âgés obtenaient de meilleures performances sur le second essai. Cette dernière performance rejoindrait presque celle obtenue par les jeunes conducteurs sur le 1^{er} essai. Ce phénomène va dans le sens des recherches effectuées par **Ball et Sekuler** (1986) qui trouvent qu'un entraînement perceptif s'avère avantageux pour les sujets âgés dans la mesure où ils rattrapent l'écart par rapport aux jeunes au niveau des performances avec l'apprentissage.

Il existe par ailleurs un effet de partage de l'attention significatif sur l'essai second. **Les temps obtenus en attention partagée sont de plus longue durée que les temps obtenus en attention focalisée.** L'augmentation des tâches engendre une augmentation de la durée des temps de réponses.

Comparons maintenant nos résultats obtenus en attention focalisée et en attention partagée avec les données enregistrées par d'autres auteurs.

Zakosek. M (1994), sur un échantillon de 7 sujets, trouve un temps de réaction primaire (TR1), au 3^{ème} essai et après une phase d'apprentissage, de 384 ms en double tâche au signal auditif et de 395 ms en triple tâche au signal auditif. Sur un échantillon de 72 sujets, nous trouvons un temps de réaction primaire (TR1), au 2^{ème} essai, de 0.316 s en double tâche (TD2) au signal auditif et de 0.394 s en triple tâche au signal auditif. Nous notons par conséquent que nos résultats sont à peu près similaires aux siens.

En ce qui concerne le temps de réaction secondaire (TR2), pour la modalité auditive, cet auteur enregistre un temps de réaction presque similaire, indépendamment du nombre de tâches, soit 196 ms en tâche double et 193 ms en tâche triple. Elle obtient un temps global de réponse moyen de 720 ms (écart type = 286 ms) en double tâche, de 765 ms (214 ms) en triple tâche. Au niveau des temps de réactions globaux moyens au signal auditif, cet auteur obtient une moyenne de 463 ms en tâche simple (TS) (écart type = 64 ms), de 577 ms en double tâche (TD) (écart type = 105 ms), de 600 ms en ce qui concerne la tâche triple (TT) (écart type = 102 ms).

En ce qui concerne le temps de réponse, elle enregistre un temps de réponse primaire (perception du message, identification et première action motrice : lâcher l'accélérateur) plus long que le temps secondaire (passage de l'accélérateur et appui frein) (temps physiologique nécessaire pour réaliser l'action sensori-motrice). Elle note également que les temps de réponse en attention partagée (tâche de réponse au stimulus auditif et tâche de suivi de trajectoire) sont significativement différents de ceux obtenus en tâche simple (tâche de réponse focalisée). Par contre, elle n'a pas trouvé de différence significative de temps de réponse entre la double tâche et la triple tâche (réponse stimulus, suivi de la trajectoire et conversation). C'est pourquoi, elle suppose soit qu'une des tâches a été automatisée soit que la stratégie du conducteur a changé.

En ce qui nous concerne le temps de réaction secondaire (TR2), pour la modalité auditive, indépendamment du nombre de tâches sur le second essai, est égale à 0.3 s en tâche double (TD2) et 0.3 s en tâche triple (TT2). Nous obtenons un temps global de réponse moyen de 0.62 s (écart type = 0.17 s) en double tâche (TD2), de 0.69 s (écart type = 0.20 s) en triple tâche (TT2) et de 0.55 s (écart type = 0.12 s) en tâche simple (TS2).

Lings (1991) a enregistré des temps de réponse à des signaux auditifs en tâche simple. Nous rappelons qu'il a expérimenté sur une maquette et que les sujets (N = 109) devaient répondre par un appui pédale dès l'apparition du message sonore. Si nous comparons nos résultats aux nôtres en tâche simple (attention focalisée), nous obtenons les résultats suivants (tableau n° 26).

Tableau n° 26
Comparaison de nos résultats temps de réponse en tâche simple avec ceux de LINGS (1991) et ZAKOSEK (1994)

Nous précisons au préalable que le mode de calcul de ces temps est similaire et qu'une étude comparative s'avère possible.

TS = tâche simple

TD = tâche double

TT = tâche triple

TS1 = tâche simple 1^{er} essai

TS2 = tâche simple second essai

TS3 = tâche simple essai 3

Auteurs	Fraigneau & al	Fraigneau & al	Lings	Lings	Zakosek & al	Zakosek & al
Tâche	TS1	TS2	TS1	TS3	TS1	TS3
N	55	72	109	109	7	7
Moyenne TR1	0.41	0.296	0.306	0.270	inconnu	inconnu
Ecart type TR1	0.34	0.104	inconnu	inconnu	inconnu	inconnu
Moyenne TR2	0.297	0.25	0.234	0.218	inconnu	inconnu
Ecart type TR2	0.127	0.07	inconnu	inconnu	inconnu	inconnu
Tps total	0.7	0.55	0.540	0.488 s	0.462	0.455
Ecart type	0.32	0.12	inconnu	inconnu	0.63	0.64

Si on visualise le tableau n° 26, on constate que les résultats au niveau des temps de réaction en tâche simple sont du même ordre que ceux obtenus par **Zakosek** et **Lings** en attention focalisée. Néanmoins, nous notons très nettement l'existence d'un effet d'apprentissage de l'essai 1 (TS1) à l'essai 3 (TS3). Si on visualise les temps de réactions obtenus sur les essais un, deux et trois, on note bien une involution des temps de réponses liée à l'apprentissage.

Comparons maintenant nos résultats de temps de réponses en attention partagée (voir tableau n° 27).

Tableau n° 27
Comparaison de nos résultats temps de réponse en tâche double et triple avec ceux de ZAKOSEK (1994)

TD1 = 1^{er} essai TD2 = 2nd essai TT1 = 1^{er} essai TT2 = 2nd essai

Auteurs	Fraigneau & al	Fraigneau & al	Fraigneau & al	Fraigneau & al	Zakosek & al	Zakosek & al
Tâche	TD1	TD2	TT1	TT2	TD	TT
N	103	107	61	68	7	7
Moyenne TR1 (sec)	0.43	0.31	0.38	0.394	0.378	0.40
Ecart type TR1	0.267	0.17	0.1	0.203	0.199	0.199
Moyenne TR2 (sec)	0.32	0.29	0.298	0.3	0.199	0.199
Ecart type TR2	0,17	0.131	0.201	0.13	0.44	0.37
Tps total (sec)	0,75	0.62	0.68	0.69	0.577	0.60
Ecart type	0.29	0.17	0.23	0.205	0.105	0.102

Si on regarde le tableau n° 27, nous ne notons pas de différence avec les résultats de **Zakosek. M** en ce qui concerne les temps de réaction en tâche triple (TT).

En tâche double, notre temps moyen de réponse sur le 1^{er} essai est de 0.75 sec et de 0.62 s sur le second essai. Cet auteur trouve une moyenne de temps de réaction égale à 0.577 sec. Ces résultats correspondent à la moyenne des temps de réponses obtenue pour notre classe d'âge 20-40 ans. Ces résultats semblent par conséquent cohérent dans la mesure où l'âge de son effectif correspondait à cette classe d'âge.

Malaterre et Lechner (1989) ont réalisé une expérimentation sur simulateur de conduite en tâche simple où ils enregistrent les temps de freinage des conducteurs à un obstacle placé sur le circuit. Ils distinguent deux temps : le temps de première action qui correspond au lâcher d'accélérateur (TR1) et un temps de freinage qui correspond au lâcher de la pédale d'accélérateur plus l'appui de la pédale de frein.

Ce deuxième temps cité est en ce qui nous concerne, enregistré uniquement au premier point d'application sur le frein. Seul le temps de déplacement du pied vers la pédale de frein et le temps de perception du signal auditif et le premier mouvement de retrait de la pédale d'accélérateur est pris en compte. Notre second temps de réponse ne prend pas en considération la course de la pédale jusqu'à l'arrêt du véhicule. La prise en compte de la durée de freinage n'était pas cohérente en ce qui nous concerne, dans la mesure où le comportement du véhicule au freinage sur simulateur n'est pas réaliste pour le conducteur.

Seul le premier temps de réponse (TR1) ou temps de première commande active est par conséquent comparable avec les résultats de **Malaterre**.

Cet auteur enregistre un temps de réaction primaire (TR1) égale à 0.620 s en tâche double préalerte.

Nous trouvons un temps de réaction primaire (TR1) égale à 0.75 s en tâche double sans préalerte ; un temps de réaction primaire (TR1) égale à 0.620 s en tâche double en préalerte.

Le fait que nous trouvons des résultats de temps de réponses primaires identiques à ceux obtenus par **Malaterre** valide par conséquent la pertinence de notre mode de calcul.

V.1 Critique de la méthode

Nous sommes à même de penser que la méthode de calcul des temps de réaction "purs" est fiable et reproductible néanmoins quelques points sont à revoir pour la parfaire la faisabilité technique :

- * Les temps primaires et temps secondaires n'ont pu être enregistrés que sur 55 sujets sur le 1^{er} essai (TS1) et sur 72 sujets sur le second essai (TS2) soit 50 % de rejet. La méthode préconisée n'est par conséquent pas fiable. A l'avenir, il faudrait positionner une cale sous la pédale d'accélérateur sur laquelle le sujet devrait appuyer à fond de façon à ce que la valeur d'enfoncement soit toujours identique d'un sujet à l'autre et ne corresponde pas d'autre part à une valeur parasite du capteur. Cette méthode permettrait l'enregistrement des temps primaires et secondaires en tâche simple d'une façon plus rigoureuse.
- * Nous n'avons pas pris en compte des paramètres pouvant avoir une incidence capitale sur les temps de réaction à savoir le taux d'alcoolémie, la prise de médicaments....
- * Il s'avère absolument nécessaire de mettre au point un enregistrement vidéo de la position des pieds du sujet afin que l'expérimentateur puisse vérifier en simultanée si le sujet respecte bien la consigne.
- * L'incidence du port de talons relativement haut ainsi que la position du pied, du membre inférieur, la résistance de la pédale et sans doute d'autres facteurs pourrait avoir une incidence sur les données des temps secondaires (TR2) correspondant au déplacement du pied sur la pédale d'accélérateur vers la pédale de frein (1^{er} point d'application). Il faudrait par conséquent tenir compte de tous ces paramètres.

L'objectif premier a bien été atteint à savoir que nous disposons d'une base de données des temps de réactions des conducteurs à un signal d'alerte auditif.

Néanmoins, il faut noter que ces temps de réponses ont été enregistré en situation non réelle, sur simulateur. Les temps obtenus en situation naturelle de conduite dans un véhicule réel ne serait sans aucun doute pas identiques.

D'autre part, les mesures de ces temps font complètement abstraction du temps lié au freinage. En effet, seul le premier point d'application sur la pédale de frein est pris en compte. Le temps relatif à la course de la pédale jusqu'à l'arrêt total du véhicule n'est pas obtenu avec notre méthode. C'est pourquoi, nous considérons que ces données ne sont pas utilisables dans une application directe pour un système anticollision. Ces données représentent uniquement le temps de réaction pur du conducteur dans une situation de conduite sur simulateur et pour un signal acoustique donné. Il serait alors judicieux de prendre en compte les temps enregistrés par Malaterre qui comprennent le temps relatif à la course de la pédale. Le temps moyen de freinage estimé par celui-ci en situation de manoeuvre d'urgence sur piste est estimé à 2.82 sec.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Actes INRETS N° 21, Recueil de communications, "L'analyse des activités du conducteur", 1989.

ALAUZET.A & PAUZIE.A & REGIN.F "Typology of french drivers based on functional abilities and driving habits", INRETS - LESCO, DRIVE Project V 1037 - STAMMI, Dec 1991.

BIRREN. E, K. WARNER SCHAIE "Le vieillissement moteur" in Handbook of the psychology of aging, 3^{ème} ED pp 183-192.

CAVALLO VIOLA "Perception", 1988, V 17, pp 623-632.

CHANG. J.Y., "Cross sectional and longitudinal analyses of set in relation to age", in Proceedings of the human Factors Society 35th Annual Meeting, Volume 1, San Francisco, California, Sep 2-6, 1991.

DANIELLOU. F "Ergonomie et projets industriels", ED CNAM/MEDIAS, 1984.

DESSAIGNES M.F & SPERANDIO J.C "Une comparaison expérimentale entre modes de présentations visuels ou auditifs de messages d'informations routières à des conducteurs automobiles", Le travail humain, Tome 51, n° 3, pp 257-268, 1988.

DEJEAMMES. M., "Eddit pour une évaluation des aides à l'information des conducteurs âgés", in Vieillesse et transport, Actes INRETS n° 35, 1993.

DURAND. C & GAURIAT. P & LETT1SSERAND. D & CHANUT. O., "Les moyens actuels de l'INRETS en simulation de conduite". Journée spécialisée du 3 Fev 1994, Actes INRETS, n° 42 Arceuil, Dec 1994.

FALZON P "Raisonnements finalisés et représentations" Polycopié CNAM 1994.

FLORES J.L "Physiologie du mouvement" Polycopié du CNAM 1994.

FORTIN. C & ROUSSEAU. R "Psychologie cognitive, une approche du traitement de l'information", ED Télé université, Québec, 1989.

GEHEE. D & MOLLENBAUER. M & DINGUE. T "The decomposition of driver / human factors in front to rear. End automotive crashes : design applications" in Towards and intelligent transport system, ED ERTICO, 1994.

Actes INRETS N° 35, "Vieillesse et transport", Programme interdisciplinaire de recherche sur les technologies, le travail, l'emploi, les modes de vie, Mai 1993.

KEMENY. A & PIROIRD J.M "A simulator for cooperative driving", DRIVE Conference, Brussels, Feb. 1991.

LINGS. S, "Assessing driving capability : a method for individual testing", in Applied ergonomics, 22.2, 1991, pp 75-84.

MALATERRE. G & FONTAINE. H, "Les aides à la conduite : quels enjeux pour la sécurité ?", Revue RTS, n° 35 sept 1992 (a), pp 43-54.

MALATERRE. G "Temps de réponses et manoeuvre d'urgence", revue RTS, Dec 1986 (b), pp 11-16.

MALATERRE. G & LECHNER. D, "Simulation de la conduite automobile : validité dans une problématique de recherche", Actes INRETS n° 42, Dec 1994 (c).

MALATERRE. G & LECHNER. D "Expérimentation des manoeuvres d'urgence sur simulateur de conduite, première partie comportement des conducteurs", Rapport INRETS n° 104, 60 p, 1989 (d).

MARIN LAMELLET, "Elements de réflexion sur l'interface conducteur age systèmes d'aide à la navigation", These de doctorat, 209 p, 1993.

NGUYEN - XUAN, J.F RICHARD, HOC J.M, "Le contrôle dans l'activité" in TRAITE DE PSYCHOLOGIE COGNITIVE, Le traitement de l'information symbolique, ED DUNOD.1990.

OLSON & SIVAK, "Temps de perception - réponse sur des dangers imprévus de la route" in human factors, 28(I), 91-96, 1986.

PACHIAUDI. G & CHIRON. M & VERNET. M & BRUYERE. JC, "Le bruit à l'intérieur des véhicules de transport terrestre. Ses effets sur le conducteur et les passagers, étude documentaire", NNB203, rapport INRETS, Dec 1992.

PAILHOUS. J et BONNARD. M, "Programmation et contrôle du mouvement" in Traité de psychologie cognitive Tome 1, Ed. DUNOD 1989.

PAUZIE. A (a), "Les systèmes d'aide à la conduite : assistance effective ou perturbation potentielle pour le futur conducteur âgé ?", in Le travail humain, Tome 58, n° 2/1995, 131-149, Juin 1995.

PAUZIE. A (b), "Vieillesse et capacités fonctionnelles, revue bibliographique des connaissances théoriques", LESCO, Mai 1989.

RASMUSSEN J, "Skills, rules and knowledge : signals, signs and symbols and other distinction in human performance models"; IEEE transactions on systems, Man and cybernetics, Vol SMC - 13, n° 3 pp 257-266.

REYNOLDS. S.L "Longitudinal analysis of age change in speed behavior", in Proceedings of the human Factors Society 35th Annual Meeting, Volume 1, San Francisco, California, Sep 2-6, 1991.

SALVENDY. G, "Perception auditive et âge", in Handbook of human factors, 1987.

SCHERRER & co, "Précis de physiologie du travail, notions d'ergonomie", ED MASSON, 2^{ème} ED, 1991.

STAMMI "Final report" V 1037, Deliverable n° 6.

STELMACH G and A. NAHOM "The effects of age on driving skill cognitive motor capabilities", ED Taylor and Francis, 1993.

VALAT. M & LEBRETON. B & LAURENS JF & VERNET M, "Faisabilité d'une procédure de mesure des temps de réponses des conducteurs aux signaux d'alerte", Rapport LESCO n° 9213, 1992.

VERCRUYSEN. M, Symposium Arranger, "Age-related slowing of behavior", in Proceedings of the human Factors Society 35th Annual Meeting, Volume 1, San Francisco, California, Sep 2-6, 1991.

VERNET. M "measurement of ambient conditions data", DRIVE V I037 STAMMI, Rapport INRETS, 1989 (a).

VERNET. M "Evaluation ergonomique des aides électroniques dans les voitures : capacités d'utilisation des signaux d'alerte. Demande d'avis au comité interne d'éthique et de protection des personnes". Rapport LESCO n° 9505, Mai 1995 (b).

VERNET. M "Vieillesse des conducteurs et utilisation des informations auditives dans la voiture". Compte rendu du séminaire organisé par INRETS, CNRS et PIRTTEM à LYON, le 3-12 1992. Actes INRETS n° 35-1993 (c).

"Statistiques appliquées à l'exploitation des mesures", Tome 1 & 2, Commissariat à l'Energie Atomique, ED CHARLOT), pp 200-203.

"Statistical software new system for windows BMDP", version 1.0, 1994.

SPSS for windows, base system user's guide, release 5.0, Norusis.

Le travail humain ; "Aides avancées à la conduite automobile, advanced support to car driving", VOL 58 N° 2, Ed PUF, Juin 1995.

ZAKOSEK. M, "Evaluation des temps de réponse au freinage des conducteurs en situation d'urgence", DEA, LEACM, 1994.

ZAKOSEK. M & VERNET. M, "Temps de réponse des conducteurs en situation d'urgence", Rapport INRETS n° 9420, 1994.

ABREVIATIONS

TS	= tâche simple.
TD	= tâche double.
TT	= tâche triple.
TS1	= tâche simple 1 ^{er} essai.
TS2	= tâche simple second essai.
TD1	= tâche double 1 ^{er} essai.
TD2	= tâche double 2 nd essai.
TT1	= tâche triple 1 ^{er} essai.
TT2	= tâche triple second essai.
TR1	= temps de réaction primaire.
TR2	= temps de réaction secondaire.
TT	= temps total de réaction.
N	= effectif.
E	= enfoncement lors de l'émission du signal sonore.
C	= classe d'âge.
S	= sexe.
V	= vitesse lors de l'émission du signal sonore.
MTTDD1	= moyenne du temps de réaction sur la tâche double premier essai.
ETTD1	= écart type du temps de réaction sur la tâche double premier essai.
MTTS1	= moyenne du temps de réaction sur la tâche simple premier essai.
ETTS1	= écart type du temps de réaction sur la tâche simple premier essai.

Abréviations des variables statistiques

S = sexe

H = 1.

F = 2.

C = classe âge

20-30 = 1.

30-40 = 2.

40-50 = 3.

50-60 = 4.

60-70 = 5.

70-80 = 6.

tâche =

tâche simple (1).

tâche double (2).

tâche triple (3).

Essai = 1^{er} (1) second (2).

E = enfoncement.