



**HAL**  
open science

## Conséquence de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication pendant la conduite automobile : rapport final COUNTIC

A. Chapon, Mp Bruyas, T. Lelekov-Boissard, D. Letisserand, P. Deleurence, O. Chanut, D. Hostal, S. Robert, C. Goupil, M. Duraz, et al.

### ► To cite this version:

A. Chapon, Mp Bruyas, T. Lelekov-Boissard, D. Letisserand, P. Deleurence, et al.. Conséquence de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication pendant la conduite automobile : rapport final COUNTIC. 2004, 84p. hal-00546233

**HAL Id: hal-00546233**

**<https://hal.science/hal-00546233>**

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.

**INRETS/RR/04-504-FR**

INRETS / LESCOT

*Chapon André, Bruyas Marie-Pierre, Lelekov-Boissard Taïssia, Letisserand Daniel,  
Deleurence Philippe, Chanut Odette, Hostal Damien, Robert Sandrine, Goupil Céline*

INRETS / CIR

*Duraz Max, Aillerie Isabelle, Michelet Roger*

INSERM E342

*Perchet Caroline*

Conseil scientifique pour la partie neuro-physiologique

*Luis Garcia-Larrea*

# **Conséquence de l'Utilisation des Nouvelles Technologies de l'Information et de la communication pendant la Conduite automobile**

Rapport Final COUNTIC

Convention DSCR

**INRETS/LESCOT N° 0401**

**Février 2004**

# **Conséquence de l'Utilisation des Nouvelles Technologies de l'Information et de la communication pendant la Conduite automobile**

Rapport Final COUNTIC

Convention DSCR

Chapon André\*, Bruyas Marie-Pierre\*, Lelekov-Boissard Taïssia\*,  
Letisserand Daniel\*, Duraz Max\*\*, Aïllerie Isabelle\*\*, Perchet  
Caroline\*\*\*, Deleurence Philippe\*, Michelet Roger\*\*, Chanut  
Odette\*, Hostal Damien\*, Robert Sandrine\*, Goupil Céline\*,

Conseil scientifique pour la partie neuro-physiologique : Luis Garcia-Larrea\*\*\*

\* INRETS / LESCOT

\*\* INRETS / CIR

\*\*\* INSERM E342

*INRETS/LESCOT*

*Février 2004*

## ***Remerciements***

***Nous remercions Mélanie Morel qui a participé à l'expérimentation en vue d'enregistrer les paramètres électrodermiques, dans le cadre de sa thèse en collaboration avec : RENAULT, en la personne de Claire Petit, LYON 1, en la personne de Christian Collet et EURISCO en la personne de Guy Boy. Les résultats qu'elle a obtenus, hors cadre de ce projet, seront ultérieurement intégrés et comparés à nos données et donneront lieu à des publications communes.***

## Fiche de synthèse

**Introduction :** Il n'est pas inutile de rappeler l'importance de l'attention dans la conduite automobile : une seule seconde de distraction peut avoir des conséquences dramatiques. Les causes de distraction sont multiples pour le conducteur et le développement des systèmes de communication utilisés pendant la conduite ne fait qu'accentuer cette probabilité de distraction. C'est particulièrement le cas de l'usage du téléphone mains-libres en dehors même de la période de prise de ligne. En effet, lors d'un appel entrant, intrusif, le conducteur n'a pas la possibilité de faire en sorte que la communication se déroule à un moment où la charge de conduite est faible. Les technologies d'assistance au conducteur, même si celles-ci peuvent avoir, par ailleurs, un effet positif sur la sécurité peuvent jouer un rôle similaire.

**Objectifs :** L'objectif principal de cette recherche est de mettre au point des méthodes d'évaluation des effets distracteurs de diverses activités de communication vocale sur l'activité de conduite. Ces effets peuvent être évalués à plusieurs niveaux :

- dégradation du traitement de l'information routière
- analyse des performances résultantes
- modifications de la charge mentale liée à l'adjonction d'une tâche supplémentaire

Au final, ceci va permettre de disposer d'échelles d'évaluation de ces effets dont la variation dépend de l'exigence en attention de la tâche ajoutée de communication.

**Hypothèses :** L'hypothèse générique de cette recherche est que l'importance de la perturbation de la tâche de conduite varie selon le contenu de l'information transmise et le mode de communication mise en jeu. Plus analytiquement, on devrait observer des différences selon des facteurs tels que : la personnalisation de l'information, le niveau d'interactivité de la communication, les processus cognitifs impliqués (communication factuelle, résolution de problème, rappel mnésique, implication), la difficulté perçue de la communication.

**Méthodologie :** Pour répondre aux objectifs la recherche est basée sur une approche multi-paramétrique. Deux contextes expérimentaux ont été utilisés : sur simulateur et sur piste d'essais.

- La dégradation du traitement de l'information routière a été évaluée à partir des modifications de l'amplitude des **potentiels évoqués endogènes**. Compte-tenu des contraintes de leur utilisation, ceux-ci n'ont été mis œuvre que sur simulateur ;
- Les baisses de performances ont été analysées au moyen des **temps de réponse** à un signal et du taux de **non détections** et/ou de non discrimination de ce signal ;
- Les modifications de la charge mentale ont été mises en évidence par l'analyse de la **fréquence cardiaque** et par l'**évaluation subjective** de la difficulté respective des différentes tâches, par les conducteurs eux-mêmes.

**Résultats :** Au total, six situations de double tâche ont été testées par comparaison à une situation de référence (conduite seule). Deux d'entre elles ont été communes aux configurations simulateur et piste d'essais. Les principaux résultats sont les suivants :

- L'écoute d'une émission à la radio, non personnalisée et non interactive, n'a aucun effet sur la tâche de conduite (simulateur et piste).
- Une conversation téléphonique peu interactive et de type narratif, n'a qu'un effet très limité sur la tâche de conduite (simulateur). Tout au plus observe-t-on une augmentation significative de 9% des temps de réponse par rapport à la conduite seule.
- Une conversation téléphonique, peu interactive mais de type résolution de problème (planification d'un déplacement) montre des différences significative sur l'ensemble des paramètres (simulateur) : diminution de 34 % de l'amplitude des potentiels évoqués, augmentation de 17 % des temps de réponse et de 4.7 % du rythme cardiaque, augmentation des non détection.
- Le calcul mental au téléphone associe interactivité, résolution de problème et performances attendues à la tâche de calcul (simulateur et piste). Cette situation perturbe fortement le traitement du signal routier ce qui se traduit par une réduction de 41 % de l'amplitude des potentiels évoqués ; les temps de réponse sont fortement augmentés (27 % sur simulateur, 17% sur piste) ; le nombre de non détection est également fortement augmenté (multiplié par 6.5 sur simulateur). Enfin, le rythme cardiaque indique une augmentation significative de la charge mentale (simulateur et piste) confirmée par les sujets qui, sur piste, hiérarchisent cette situation comme étant la plus difficile à réaliser.
- Une conversation téléphonique interactive, exigeant des rappels mnésiques et une implication personnelle du sujet s'avère très pénalisante sur les temps de réponse qui sont augmentés de 33 % (sur piste). Elle l'est moins en ce qui concerne les autres paramètres, sans doute parce qu'elle a été considérée comme plus facile à réaliser et moins stressante ; c'est ce que montrent l'augmentation moins importante que précédemment du rythme cardiaque et la position plus intermédiaire donnée par les sujets en terme de hiérarchie. Ce résultat met en évidence une situations au cours de laquelle les sujets n'ont pas conscience du risque et seront donc de ce fait moins apte à le prendre en compte.
- Enfin, les mêmes types de conversation qu'au téléphone, mais avec un passager (piste) s'accompagne d'une augmentation du temps de réponse deux fois moindre (17 %). Ceci peut s'expliquer par le fait que le passager étant dans le véhicule, les sujets ont plus facilement différé leur réponse, comme l'a confirmé l'évaluation subjective.

**Conclusions :** Les expérimentations sur simulateur et piste ont montré des résultats concordants en ce qui concerne les situations communes (conduite seule, radio et calcul mental) et leurs paramètres communs (temps de réponse et fréquences cardiaques). Ceci aboutit à une validation réciproque des deux dispositifs.

Parallèlement, l'approche multiparamétrique que nous avons proposée s'est avérée profitable de diverses manières. En effet, des corrélations ont été obtenues entre plusieurs paramètres. Toutefois, les quelques divergences observées ont permis d'expliquer, à partir des processus impliqués, les différents mécanismes du détournement de l'attention du conducteur au profit d'une tâche ajoutée. Sur un plan plus général, les hypothèses ont été validées et il a été possible de proposer des échelles hiérarchiques de la perturbation de l'attention du conducteur générée par l'adjonction, à la tâche de conduite, d'une tâche de communication audio-vocale.

# Sommaire

<b>Sommaire .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Problématique et hypothèses.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Données de la littérature.....</b>	<b>5</b>
2.1 Résultats des recherches sur le téléphone et la conduite automobile.....	5
2.1.1. L'approche épidémiologique.....	5
2.1.2. L'approche expérimentale.....	6
2.1.3. Quelques notions sur l'attention sélective et le traitement de l'information.....	7
2.1.4 Attention partagée .....	9
2.2. Les indicateurs de l'attention .....	12
2.2.1. Les paramètres directement observables.....	12
2.2.2. Les paramètres du SNC.....	13
2.2.3. Les paramètres du SNV.....	16
<b>3. Méthodologie.....</b>	<b>19</b>
3.1. Méthodologie générique.....	19
3.1.1. Rappel des objectifs .....	19
3.1.2. Les deux types d'expérimentations .....	19
3.1.3. Choix des variables .....	20
3.2. Méthodologie spécifique : SIMULATEUR .....	21
3.2.1. Configuration d'ensemble .....	21
3.2.2. Description des tâches ajoutées.....	22
3.2.3. Acquisition des données.....	23
3.2.4. Caractéristiques des sujets.....	25
3.2.5. Déroulement de l'expérimentation.....	25
3.3. Méthodologie spécifique : PISTE D'ESSAI.....	26
3.3.1. Plan expérimental .....	26
3.3.2. Réalisation des tâches ajoutées .....	27
3.3.3. Acquisition des données.....	28
3.3.4. Caractéristiques des sujets.....	28
<b>4. Résultats .....</b>	<b>31</b>
4.1. Résultats SIMULATEUR 2002 .....	31
4.1.1 Potentiels évoqués cérébraux .....	31
4.1.2. Temps de réponse.....	33
4.1.3. Non-détections .....	34
4.1.4. Variation du rythme cardiaque.....	35
4.1.5. Corrélation entre potentiels évoqués cérébraux et temps de réponse.....	35
4.1.6. Corrélation entre variabilité cardiaque et temps de réponse .....	36
4.2. Résultats SIMULATEUR 2003 .....	37
4.2.1. Potentiels évoqués cérébraux .....	37
4.2.2. Temps de réponse.....	40
4.2.3. Non-détections (et détections tardives).....	41
4.2.4. Variation du rythme cardiaque.....	41
4.2.5. Corrélations diverses .....	42

4.2.6. Variabilité interindividuelle .....	44
4.3. Synthèse des expérimentations sur SIMULATEUR .....	46
4.4. Résultats PISTE D'ESSAI .....	52
4.4.1. Temps de réponse.....	52
4.4.2. Analyse des erreurs de détection .....	55
4.4.3. Variations du rythme cardiaque .....	56
4.4.4. Contrôle de l'exécution des tâches ajoutées.....	57
4.4.5. Variabilité interindividuelle .....	60
<b>5. Discussion des résultats : Impact des différentes tâches ajoutées.....</b>	<b>65</b>
5.1. Ecoute de la radio .....	65
5.2. Téléphoner en conduisant.....	65
5.3. Discussion avec un passager .....	68
<b>6. Conclusion et perspectives de recherche.....</b>	<b>70</b>
6.1 Evaluation des perturbations de l'attention .....	70
6.2 Validation de la méthodologie .....	71
6.2.1. Approche simulateur de conduite/Piste.....	71
6.2.2. Apport des paramètres physiologiques .....	71
6.3 Perspectives de recherche.....	72
6.3.1. Expérimentation sur route .....	72
6.3.2. Amélioration de l'évaluation de la charge mentale.....	72
6.3.3. Rapprochement des méthodologies.....	73
6.3.4. Les assistances à la conduite .....	73
6.3.5. Imagerie cérébrale .....	74
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>75</b>
<b>ANNEXE 1 : Enregistrement des Potentiels Evoqués Description des tracés.....</b>	<b>79</b>
<b>ANNEXE 2 : Enregistrement des Potentiels Evoqués Méthode d'acquisition .....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXE 3 : Enregistrement des Potentiels évoqués Positionnement des électrodes .....</b>	<b>81</b>
<b>ANNEXE 4 : Equipement du véhicule expérimental.....</b>	<b>82</b>
<b>ANNEXE 5 : Trame des prétextes à communication.....</b>	<b>83</b>

## 1. Problématique et hypothèses

S'il est possible de faire respecter un grand nombre de règles de sécurité telles que les limitations de vitesse et d'en sanctionner les infractions, doit-on considérer cependant qu'en absence de toute infraction du conducteur, la conduite deviendrait exempte de tout accident ? Cette question amène à s'intéresser à d'autres facteurs d'accidents et parmi ceux-ci l'inattention, qu'il est difficile de réprimer. On peut facilement démontrer que, quels que soient la vitesse et le contexte, une inattention, même de très courte durée, est susceptible de provoquer un accident. Ainsi en 1 seconde de distraction à 130 Km/h (autoroute) un véhicule parcourt plus de 36 mètres, ce qui est suffisant pour provoquer un accident en chaîne ; à 50 Km/h (ville) la distance parcourue sera de l'ordre de 14 mètres, ce qui est plus qu'il n'en faut pour empêcher l'évitement d'un piéton traversant la rue inopinément.

Par ailleurs, le développement technologique aboutit à ce que le conducteur soit entouré d'un ensemble de systèmes de natures différentes qui, lors de leur utilisation, constituent autant de sources de distraction. Les aides à la conduite sont conçues pour améliorer la sécurité (Safety enhancing technologies) ; il faut dans leur cas mettre en balance leur effet bénéfique et l'inattention qui peut résulter de leur utilisation. Mais d'autres systèmes n'ont aucun objectif sécuritaire (Safety impacting technologies), c'est le cas par exemple du téléphone mobile et d'Internet ; seul un effet distrayant est à attendre de leur utilisation. Ce contexte aboutit à créer des situations de tâche ajoutée par rapport à la tâche de conduite. Selon le conducteur, la nature de la conversation ou des données fournies par le système, chacune des deux tâches peut alternativement revêtir le statut de tâche principale. Les recherches basées sur l'utilisation de paramètres comportementaux et de données subjectives ont permis de montrer qu'une activité parallèle à la tâche de conduite (téléphoner notamment) s'accompagne d'une dégradation de cette dernière, mais n'apporte que peu de lumière sur la manière dont le conducteur gère ses ressources attentionnelles. Des études épidémiologiques (encore trop rares) effectuées à l'étranger montrent que l'utilisateur de téléphone mobile en conduisant aurait un risque d'accident accru globalement de 40 % mais aussi que pendant la période où il téléphone ce risque pourrait être augmenté jusqu'à 400 %.

Le projet COUNTIC adjoindra, aux paramètres de performance habituellement utilisés, des paramètres électro-physiologiques dont les potentiels évoqués cérébraux et les paramètres cardiaques, afin de mieux comprendre la manière dont une tâche surajoutée à la tâche de conduite peut dégrader le traitement de l'information inhérente à cette dernière, en modifiant l'allocation des ressources attentionnelles.

Les principaux objectifs de cette recherche seront tout d'abord de hiérarchiser différentes tâches distrayantes en fonction de leur impact sur la tâche de conduite. Il s'agira également d'observer comment le conducteur va réguler son activité de conduite en fonction de la tâche ajoutée et notamment de tenter d'observer comment ce dernier va commuter son attention de la route à la tâche ajoutée (analyse comportementale et physiologique).

**L'hypothèse générale** de cette recherche est que l'interférence entre tâche de conduite et tâche ajoutée va se manifester par une modification des tracés de potentiels évoqués traduisant une modification de l'allocation des ressources attentionnelles. Cette interférence va également se manifester par une modification des performances du conducteur (augmentation des temps de réaction et des erreurs de détection) traduisant une modification de l'allocation des ressources attentionnelles accordée à la tâche de conduite. Une modification des paramètres cardiaques pourra également être observée dans les deux cas, indiquant un accroissement de la charge mentale.

Les hypothèses plus spécifiques sont les suivantes :

- L'interférence entre deux tâches différera selon la nature de celles-ci et selon les technologies envisagées
- c'est davantage le contenu informatif que la technologie elle-même qui va déterminer le niveau d'interférence
- il doit être observé des différences individuelles, selon les choix de priorités différents des sujets

Ces hypothèses seront vérifiées dans deux types d'expérimentation : d'une part sur simulateur de conduite, permettant d'enregistrer des potentiels évoqués (partie 1 et 2) et, d'autre part, en conduite réelle sur piste d'essai (partie 3).

## 2. Données de la littérature

### 2.1 Résultats des recherches sur le téléphone et la conduite automobile

#### 2.1.1. L'approche épidémiologique

Les quelques recherches qui ont été effectuées proviennent d'outre-atlantique.

Les travaux de Violanti (1997) reposent sur des rapports de police (206 639 rapports) concernant les accidents dans l'état de l'Oklahoma. Il n'a pas été trouvé de différence significative de Risque Relatif entre les possesseurs de téléphone dans leur voiture et ceux qui ont reconnu être en train de l'utiliser lors de l'accident. Mais, selon l'auteur, l'effectif de ces derniers a sans doute été minimisé. Les deux échantillons ont été amalgamés. Les résultats indiquent un risque relatif différencié selon le type d'accident :

- Tonneaux : R.R = 4.78 (RR = 9.17 pour les personnes de plus de 50 ans)
- Sorties de route : R.R = 2 .96
- Choc contre objet fixe : R.R = 2.29
- Le risque relatif est plus important en situation urbaine que sur les autres types de voies.

L'étude de Redelmeier (1997) réalisée à Toronto associe aux rapports de police les factures de téléphone, ce qui permet de connaître l'heure exacte de l'appel. Notons cependant que la précision sur l'instant de l'accident est nettement moins bonne que celle de l'appel. Les résultats indiquent que le risque d'avoir une collision en téléphonant est 4 fois plus important que lorsque l'on ne téléphone pas (R.R 4.3 avec un intervalle de confiance à 95 % de 3.0 à 6.5)

Au Québec l'étude de Laberge-Nadeau (2001) indique essentiellement que les personnes utilisatrices du téléphone en conduisant présentent globalement une probabilité d'accident 40% plus élevée que celles qui ne l'utilisent pas.

Les remarques que l'on peut formuler sur l'ensemble de ces recherches sont que, s'il est certain que les personnes qui utilisent leur téléphone en conduisant présentent un sur-risque de l'ordre de 40%, il est plus difficile de déterminer le risque relatif au moment de la communication du fait de l'imprécision de l'heure exacte de l'accident : il est en effet commun, si l'on dispose d'un téléphone portable, de prévenir des personnes après l'accident, une erreur de quelques minutes sur l'heure de l'accident peut faire considérer ces appels comme ayant été passés au moment de l'accident. D'autre part, et tous les auteurs le soulignent, il n'est pas possible d'établir un lien de causalité direct entre le fait de téléphoner et la survenue de l'accident. On pourrait, en effet, penser que des personnes à comportement risqué vont parallèlement prendre le risque de téléphoner au volant et adopter une conduite à risque.

### *2.1.2. L'approche expérimentale*

L'approche expérimentale, si elle s'avère assez inefficace pour identifier et plus encore quantifier un sur-risque lié à l'usage du téléphone pendant la conduite, s'avère très complémentaire par rapport à l'approche épidémiologique, en fournissant des indices comportementaux qui valideraient la notion de sur-risque des épidémiologistes.

De nombreuses recherches ont été menées soit en conduite simulée, soit sur route ou sur piste, nous retiendrons les travaux de Alm et Nilsson (1995) de Brookhuis et al (1991) de Fairclough et al (1991) et de Pachiaudi et al (1996) ainsi que la synthèse de Pachiaudi (2001) qui fait le point de l'ensemble des travaux publiés sur le sujet. A quelques nuances près, ces recherches aboutissent aux mêmes conclusions :

- Lors d'un appel entrant, les sujets, pour la moitié d'entre eux, répondent en moins de 2 secondes qu'elle que soit la situation routière.
- En cours de conversation, on observe une fixité du regard « droit devant » : l'augmentation du temps passé dans cette direction de regard peut aller de 30 % (en ville) jusqu'à 65 % (sur autoroute). Mais que voit réellement le sujet ?
- Lors d'un incident imprévu, le sujet qui téléphone présente des temps de réaction de 40 à 50% plus longs que lorsqu'il ne téléphone pas. Chez des conducteurs âgés, déjà normalement plus lents, cette augmentation peut atteindre 72%, amenant des temps de réaction de 3,5 sec dans certaines conditions de conduite en file.
- Les indices tant subjectifs (NASA –TLX et dérivés) que physiologiques (fréquence cardiaque et arythmie dans la gamme de fréquence 0.05 à 0.15 Hz) indiquent une augmentation de la « charge mentale ».
- Contrairement à ce que croient les sujets, ces derniers n'adaptent pas des stratégies compensatoires pour préserver leur sécurité : aucune différence significative quant à la vitesse pratiquée et à l'espace inter-véhiculaire n'a été observée.
- Divers travaux ont comparé les résultats obtenus selon le type de téléphone (tenu à la main ou mains-libres). Ces comparaisons ne laissent apparaître aucune différence significative.

La recherche menée par Fairclough et al. (1991) indique, pour sa part, que converser au téléphone serait plus dangereux que de le faire avec un passager. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le passager est conscient de la situation ou, en présence d'un silence du conducteur, peut rapidement prendre conscience d'une situation de conduite délicate à gérer. Il s'en suit une régulation tacite du débit de conversation entre les deux interlocuteurs. Ce n'est évidemment pas le cas lors d'une conversation téléphonique.

Plusieurs résultats de recherche sont parus depuis la synthèse effectuée par G. Pachiaudi. Ainsi a été prise en compte la difficulté de la tâche ajoutée. Pour Nunes et Recarte (2002), une tâche simple n'a aucun effet sur la tâche de conduite alors qu'une tâche complexe s'accompagne d'un effet tant sur les fixations oculaires que sur la probabilité de détection d'un signal lumineux. Pour leur part, Tokunaga et al. (2000) montrent qu'en cas de conversation téléphonique simple, les temps de réponse à un signal d'alerte sont augmentés de 35% ; cette augmentation est de 56% si la conversation est complexe. Stayer et Johnstone (2001) indiquent que l'interférence se situe au niveau cognitif et non pas perceptif. Si cela est parfaitement exact, il nous paraît important, afin de lever toute ambiguïté, de préciser qu'une interférence cognitive, fonction de la difficulté de la tâche ajoutée, va avoir un impact

perceptif sur les capacités du conducteur à acquérir les informations routières et à les utiliser, ce qui explique l'observation de non détectations.

Beaucoup de conducteurs, pour justifier le fait qu'ils téléphonent en conduisant, déclarent que leur distraction est équivalente à celle générée par l'écoute d'une émission à la radio. Cette allégation est battue en brèche par les résultats de Consiglio et al. (2002) qui indiquent que, par rapport à une situation de référence, les temps de réponse lors d'une écoute radio ne sont augmentés que de 4% alors que cette augmentation s'élève à 19% lors d'une conversation via un téléphone mains-libres et de façon presque équivalente avec un téléphone tenu à la main (18%). Les résultats de Stayer et Johnstone (2001) vont dans le même sens : les temps de réponse ne sont pas augmentés lors d'une écoute radio, par contre ils s'accroissent de 10.4% lors d'une conversation téléphonique. Ces derniers auteurs notent en outre, dans le cas de la conversation téléphonique, une augmentation des omissions de 133%.

En opposition avec les résultats de Fairclough et al. (1991), Consiglio et al. (2002) d'une part et Nunes et Recarte (2002) d'autre part, ne trouvent pas de différence d'effet distracteur entre la conversation téléphonique et l'entretien avec un passager. Avant de conclure que ces deux situations sont équivalentes, il faudrait discuter l'effet « expérimentation » susceptible de gommer les différences et considérer les différences individuelles de comportement tant au niveau du passager que du conducteur (passager alertant le conducteur donc conscient de la situation, conducteur moins bavard lorsqu'il est en situation de conduite).

Les recherches épidémiologiques indiquent une augmentation du risque d'accident lié à l'usage du téléphone pendant la conduite. Les recherches expérimentales permettent de détecter des modifications de comportement qui traduisent l'accroissement du risque et qui seraient globalement le reflet d'une diminution des capacités d'anticipation et subséquentement de réaction du conducteur.

### ***2.1.3. Quelques notions sur l'attention sélective et le traitement de l'information***

« L'attention sélective est la prise de possession de l'esprit, de façon claire et vive par un objet de pensée parmi l'ensemble des objets possibles. La focalisation, la concentration de la conscience sont de son essence. Elle implique de se soustraire de certaines choses afin de s'occuper d'autres, de façon effective, et elle représente une condition dont l'opposé réel est l'état confus, hébété, étourdi » (W. James, 1890, cité d'après Näätänen, 1992).

A l'attention active qui répond aux exigences d'une tâche prescrite que l'on a choisie de traiter, on oppose l'attention qui survient lorsqu'un stimulus initialement inattendu provoque une commutation de l'attention qui est détournée de la tâche en cours (Näätänen 1992). Les mécanismes d'attention passive sont pour Kahneman et Treisman (1984) réellement automatiques. Cependant comme le souligne Näätänen (1992) « lorsque nous commençons à suivre une conversation dont la survenue a capté notre attention au détriment de la tâche, cette attention involontaire se modifie en attention active volontaire sans changement concomitant de l'objet de l'attention »

La commutation de l'attention peut donner lieu à une « réaction investigatrice » (Pavlov 1927) ou « réponse orientée » (Sokolov 1963) définie sur la base de modifications corporelles primitivement automatiques (musculaire, gestuelle, respiratoire, oculaire, modifications EEG

et neuro-vegétatives) dépendant vraisemblablement des systèmes d'activation non spécifiques du cerveau tels que la formation réticulée.

Selon Näätänen la réponse orientée aurait deux composantes :

- l'une énergétique ayant trait à l'activation des fonctions sensorielles et motrices ainsi qu'à leur intégration centrale,
- l'autre informationnelle et attentionnelle correspondant à une commutation réflexe de l'attention vers le stimulus causal.

Contrairement à l'attention passive qui n'agit que dans le présent, l'attention volontaire ou active, comme le fait remarquer Näätänen (1992), peut opérer dans le passé (grâce à la mémoire sensorielle) et surtout dans le futur. L'attention passive est liée à la présence d'un stimulus qui provoque une distraction de l'activité en cours et une commutation, tandis que l'attention active est mobilisée hors de la présence d'un signal que l'on doit détecter, avant même la survenue de ce dernier. Cette dernière est liée à la tâche que doit réaliser l'individu (par exemple répondre le plus vite possible de façon correcte au signal) ; elle est anticipatrice. Ce type d'attention correctement mis en œuvre se traduit par une diminution des temps de réaction comparés à ceux observés en l'absence d'anticipation ou si l'anticipation est dirigée vers une cible incorrecte.

Näätänen fait aussi remarquer que le concept d'attention active s'applique même à l'analyse d'évènements purement centraux lorsque aucune connexion motrice ou sensorielle de l'organisme avec le monde extérieur n'est mise en jeu. Ceci définit le « travail mental » qui survient lors de résolutions de problèmes ou de rappel en mémoire d'éléments particuliers qui y ont été encodés. Ceci constitue une forme d'attention active mettant en jeu des processus de sélection, en principe très semblables à ceux correspondant à l'objectif d'une tâche de prise d'information dans notre environnement.

Bien que l'attention soit primordiale dans le traitement de l'information, une grande partie de celui-ci est effectué indépendamment de l'attention, sans effort volontaire et sans conscience d'une implication mentale. Cette distinction entre processus attentionnels ou contrôlés et processus automatiques (Shiffrin et Schneider 1977) est d'importance centrale dans les recherches sur le traitement de l'information. Définir la frontière entre ces deux types de traitement n'est pas trivial puisque, contrairement au traitement contrôlé, le traitement automatique n'est pas restreint par les limitations de capacité attentionnelle.

Posner et Snyder (1975) ont défini trois critères pour qu'un processus soit purement automatique. Il doit survenir :

- sans intention, involontairement
- sans donner lieu à une quelconque prise de conscience
- sans produire d'interférence avec une autre activité en cours

Schneider et Shiffrin (1977) ont montré qu'un processus pouvait devenir automatique à la suite d'un entraînement intensif. Ce processus automatique se caractérise, selon les auteurs (Schneider et al, 1984), par le fait qu'il est rapide, inflexible, difficile à supprimer une fois appris et non limité par la capacité de la mémoire de travail ou de l'attention. Ils l'opposent au processus contrôlé qui est lent, séquentiel, limité en capacité mais flexible.

Il résulte de ceci, qu'un même stimulus peut donner lieu à un traitement contrôlé ou automatique selon le degré d'apprentissage. Le processus automatique est alors qualitativement différent de celui mis en jeu avant que l'automatisme ne se développe. Ceci suggère qu'entre le contrôle attentionnel et l'automatisme complète d'une tâche, on puisse, selon le niveau d'apprentissage de celle-ci, observer différents niveaux de mixage de processus contrôlés et automatiques qui satisfont plus ou moins aux critères de Posner et Snyder. Pour tenir compte de cette transformation et de cette gradation, Näätänen (1992) propose, dans ce cas, de parler d'un processus automatisé plutôt qu'automatique. Ce dernier terme est alors réservé aux processus qui sont automatiques par nature et non par apprentissage et acquisition d'habiletés.

Dans les années 80, plusieurs recherches se sont efforcées de définir la part de l'activité qui est, par nature, automatique dans le traitement de l'information :

- Selon Treisman et Gelade (1980), les attributs du stimulus, excepté sa localisation spatiale, seraient traités de façon automatique et en parallèle, indépendamment de la tâche. L'attention ne surviendrait que secondairement pour intégrer ensemble ces attributs afin de donner au stimulus une valeur sémantique.
- Pour Julesz et Bergen (1983), il existe un système visuel pré-attentif qui presque instantanément et sans effort est capable de détecter des différences grossières dans les attributs (« Texton theory »).
- Hoffman et al (1983) constatent que la capacité des lumières clignotantes d'attirer l'attention spatiale est indépendante des instructions données. Il n'est donc pas surprenant qu'un mouvement périphérique puisse attirer l'attention et déclencher une orientation active.
- Enfin, et particulièrement dans la modalité auditive, la mémoire sensorielle possède une capacité importante, elle est certes fugace mais agit indépendamment de l'attention et le plus souvent sans qu'on en ait conscience (Kroll, 1975)

Näätänen (1992) conclut que l'on peut distinguer trois types de processus entièrement automatiques :

- le processus sensoriel caractérisant en parallèle chacun des attributs du stimulus, hors sa localisation spatiale
- le transfert de l'information sensorielle en mémoire sensorielle
- le processus conduisant à une commutation de l'attention

#### ***2.1.4 Attention partagée***

Dans le contexte de la problématique du projet COUNTIC, ce n'est plus le concept d'attention sélective stricto-sensu qui nous intéresse, mais celui d'attention partagée. Selon Näätänen (1992), l'attention partagée survient lorsqu'il est demandé au sujet de contrôler simultanément deux sources d'information ou davantage. Dans ce cas, il peut se produire une décroissance du niveau de performance à une tâche, du fait de l'exécution de l'autre. Cette décroissance a habituellement été expliquée en termes de limitations de « capacité » (Kahneman 1973) ou d'incompatibilité des modes de réponses exigés par les deux tâches (Wickens, 1984). La performance à la tâche ajoutée a souvent été utilisée comme mesure de la capacité laissée disponible par la tâche primaire. Ceci n'est cependant valable que si la hiérarchie entre les deux tâches reste stable et si celle-ci est respectée par le sujet. Sans vouloir entrer dans le débat, on doit cependant savoir que deux types de théories se sont opposés pour expliquer que

l'on peut gérer deux tâches simultanément et que dans ces cas puisse survenir une baisse de performances.

Pour les théories structurales, issues des travaux de Broadbent (1958), il existerait un filtre ou tout au moins un atténuateur (Treisman, 1960) qui arrêterait ou atténuerait les stimuli non pertinents avant leur traitement actif. La question qui s'est posée concernait la position de cet atténuateur (plus ou moins précoce) dans la chaîne du traitement de l'information. La possibilité de diviser son attention selon cette théorie résulterait d'une succession de commutations permettant de passer alternativement d'une tâche à l'autre. La baisse des performances en double tâche s'expliquerait par le fait que ce va et vient de l'attention est consommateur de temps et qu'il peut se produire un événement dans l'une des deux tâches au moment même où l'attention est focalisée sur l'autre.

Le second groupe de théories fait appel à la notion de capacité et de partage des ressources. Ces théories postulent aussi qu'il y a un partage de temps entre les deux tâches. Selon Wickens (1984), un partage de temps efficace entre deux tâches est possible quand les deux tâches mettent en œuvre des mécanismes et des structures différentes. Ce partage peut être considéré comme parfait lorsque les deux tâches peuvent être effectuées conjointement avec autant d'efficacité que lorsqu'elles le sont isolément. Cependant si l'exécution conjointe de ces tâches demande davantage d'attention, les performances peuvent se dégrader. Wickens interprète ceci de la manière suivante : « Les tâches sont supposées demander des ressources pour leur exécution et ces ressources sont limitées dans leur disponibilité. Ainsi lorsque la demande en ressources des deux tâches combinées excède les ressources disponibles, l'efficacité du partage de temps chute et ceci sera d'autant plus probable que la difficulté d'une des tâches composantes augmente ».

L'exposé succinct des grandes lignes de ces deux groupes de théories nous suggère quelques remarques :

- Il n'y a pas d'incompatibilité entre le partage de temps et une succession de commutations de l'attention. On peut même penser que l'un implique l'autre.
- Une tâche automatisée ne demandant aucune attention pourra être exécutée en parallèle à une tâche contrôlée sans dégradation des performances.
- Une partie du traitement de l'information est effectuée d'une façon automatique (traitement en parallèle des attributs du stimulus, mémoire sensorielle, attention passive). Cette partie ne devrait pas être affectée par le partage des ressources.
- L'atténuateur de Treisman pourrait être assimilé à un répartiteur qui attribue plus ou moins des ressources à chacune des deux tâches.
- Les paradigmes de recherche mis en œuvre dans les expérimentations supportant les deux groupes de théories correspondent à des conditions de laboratoire parfaitement « verrouillées » pour lesquelles les sujets ont des consignes strictes vis à vis des deux tâches. Il n'en va pas de même dans la vie courante où l'activité est beaucoup plus polymorphe et où la hiérarchie des tâches dépend librement de facteurs propres au sujet tels que ses préférences, sa motivation, ses prises de risque, sa stabilité émotionnelle... On pourrait penser que l'ensemble de ces facteurs peut agir sur l'atténuateur ou le répartiteur pour moduler l'affectation des ressources.

Pour conclure, le modèle de Wickens est vraisemblablement trop global et il ne distingue pas clairement les processus automatiques et les processus contrôlés. Cela génère quelques

contradictions internes. Par exemple, et pour répondre à certaines critiques, a été développé à l'intérieur du modèle le concept de ressources multiples qui postule que si deux tâches n'utilisent pas le même type de ressources elles devraient pouvoir être exécutées en parallèle avec un minimum d'interférences. Cependant cela n'explique pas les interférences constatées entre deux tâches utilisant des modalités sensorielles différentes. Aussi Kahneman, dès 1973, a proposé qu'à un niveau élevé de traitement les ressources puissent être indifférenciées.

Les données physiologiques semblent en faveur des théories structurales au rang desquelles la théorie de « l'intégration des attributs » (Treisman, 1988) serait satisfaisante. Elle considère que l'ensemble des attributs du stimulus, excepté la localisation spatiale, est traité en parallèle de façon automatique, et que c'est après leur intégration que le stimulus prend une valeur sémantique. Le stimulus est alors identifié et traité de façon active.

La problématique de recherche finalisée du projet COUNTIC peut se rattacher aux données théoriques précédentes de la manière qui suit. Dans des situations de conduite monotone, les informations et les actions du conducteur répondent à des processus essentiellement automatisés et ceci d'autant plus que le conducteur est plus expérimenté. L'attention active n'est mise en jeu qu'à la suite d'une commutation qui a permis de détecter l'arrivée du véhicule dans un environnement qui nécessite un certain contrôle (flux de véhicules, intersection, traversée d'un village....) Dans les conditions de conduite automatisée, il n'y a pas d'anticipation et l'activité est relativement stéréotypée et dépourvue de coût attentionnel.

Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, que les conducteurs considèrent qu'il est facile et absolument sans risque de téléphoner en conduisant. Certains, cependant, sont conscients qu'il y a un risque mais le considèrent comme peu probable. Tant que rien ne se passe, le bon déroulement de leur trajet confirme et renforce ce sentiment de sécurité. Si un événement imprévu survient, il n'y aura pas d'anticipation du futur possible, la détection d'un objet intrusif risque d'être retardée si celui-ci est peu saillant, la commutation de l'attention va elle-même consommer un peu de temps. Ces éléments, dans leur ensemble, font que le diagnostic de la situation et l'action résultante du conducteur seront tardifs et peut-être trop tardifs pour éviter l'accident.

Si l'on compare l'usage du téléphone à l'écoute de la radio, on fait l'hypothèse que cette dernière est beaucoup moins accidentogène. Cela tient au fait que celle-ci n'est ni personnalisée, ni interactive. Cette écoute sera donc beaucoup plus passive et la tâche privilégiée sur laquelle se portera l'attention active permettant le contrôle et l'anticipation sera, pour la majorité du temps, la tâche de conduite. Seul, de temps en temps, un mot ou une phase va agir comme distracteur, attirer l'attention et provoquer une commutation vers la radio.

## 2.2. Les indicateurs de l'attention

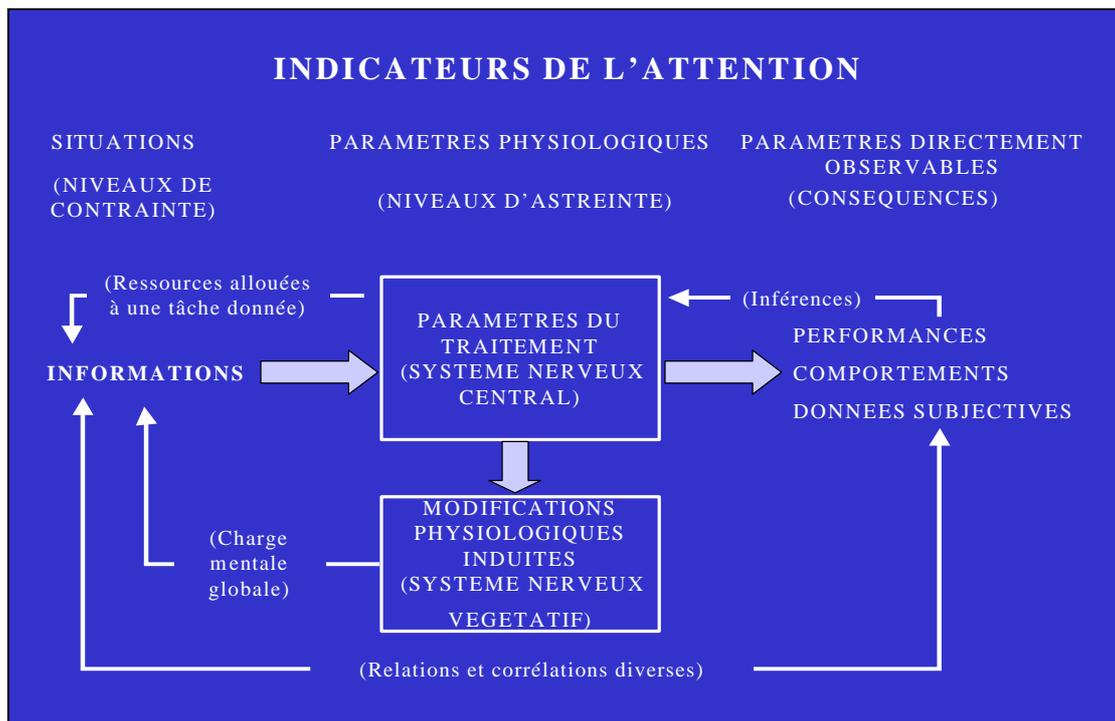


Figure 1 : Approche multi-paramétrique

La figure ci-dessus permet de classer les indicateurs de l'attention selon leur position dans la chaîne du traitement de l'information. Ainsi, les paramètres directement observables sont consécutifs au traitement et expriment, le plus souvent, ses conséquences. Les indicateurs de l'activité du Système Nerveux Central (SNC), contemporains du traitement, expriment l'attention portée à une tâche donnée. Ceux du Système Nerveux Végétatif (SNV) sont plus généralement le reflet d'une charge mentale globale ; ils peuvent être considérés comme sélectifs dans le contexte d'une tâche unique qui sollicite plus ou moins les ressources attentionnelles de l'individu.

L'intérêt d'associer ces signes physiologiques réside dans la possibilité de valider ou d'invalider les inférences faites à partir des paramètres observables. Ainsi, à partir du constat de performances médiocres à une tâche donnée, on peut inférer que cette tâche est trop difficile et dépasse les capacités de traitement du sujet. Mais, ce peut être aussi, la conséquence d'une faible motivation. Les indicateurs physiologiques permettront de trancher entre ces deux hypothèses causales.

### 2.2.1. Les paramètres directement observables

Ces paramètres sont généralement bien connus et ne posent pas de problèmes spécifiques de traitement. Ils sont incontournables, mais relativement aux processus cognitifs impliqués, leur valeur explicative a une portée limitée.

### **a. Analyse des performances**

- *Les temps de réaction ou de réponse* : ils sont couramment utilisés et doivent être analysés en fonction de la nature et de la difficulté de la tâche à exécuter ou des tâches en concurrence.
- *Les erreurs* : elles représentent une constante dans les travaux sur l'attention. On peut regretter que, trop souvent, l'aspect qualitatif des erreurs ne soit pas pris en compte, certaines étant plus préjudiciables que d'autres.

### **b. Analyse des comportements**

- *L'analyse des regards* : elle se quantifie par le nombre et la durée des fixations. Qualitativement, elle permet de déterminer l'objet de la fixation et d'individualiser des séquences indicatives d'une stratégie de recherche d'indices. Le moyen d'acquisition peut être une simple caméra, si l'objectif de la recherche n'exige pas d'être très précis. Ce peut être un oculomètre avec ou sans contact.
- *L'analyse de la gestuelle et de l'activité* : la simple observation par caméra permet de détecter des gestes, en vue d'actions sur les commandes, qui peuvent, en l'absence d'activité automatisée, traduire une focalisation particulière de l'attention. L'analyse des variations des comportements opératoires renseigne sur des modifications de stratégies qui peuvent traduire la mise en place d'un processus régulateur, lorsque la tâche devient plus difficile. Des capteurs, positionnés sur des commandes peuvent indiquer si le sujet a, ou n'a pas, pris conscience de la situation à laquelle il se trouve confronté.
- *L'analyse du discours* : elle peut être utilisée lorsque le sujet a à effectuer une tâche verbale.

### **c. Evaluation subjective**

Son objectif est d'expliquer les comportements. Mais, sa nature subjective laisse parfois planer un doute quant à la véracité des propos du sujet, qui peut rechercher des justifications a posteriori de son comportement. Ce peut être l'analyse des verbalisations, soit spontanée et en temps réel (le degré de confiance est alors élevé), soit provoquée et en temps différé. Dans l'étude de la conduite, on utilise fréquemment l'auto-confrontation. Ce peut être aussi, une évaluation de la charge mentale par des échelles globales, qui ne permettent pas d'identifier des aspects particuliers à l'intérieur d'une tâche de durée relativement longue.

#### **2.2.2. Les paramètres du SNC**

Dans une tâche de détection des signaux auxquels le sujet doit répondre, on peut enregistrer au moyen d'électrodes placées sur le scalp, une modification de l'activité électrique du cerveau, les « *potentiels évoqués cérébraux* ». Ils reflètent le traitement cortical du signal et traduisent l'attention que lui porte le sujet (cf. Annexe 1 à 3 ; pour une présentation détaillée de la méthode voir Bruyas et al. 2001).

Ce que l'on peut attendre des potentiels évoqués cérébraux, dans le cadre de l'attention sélective et de l'attention partagée, a trait à la dynamique du filtrage dans le système nerveux central, à l'évaluation des ressources affectées à une activité par le sujet et à la variation de

cette quantité de ressources, lorsqu'une tâche ajoutée survient. L'intérêt principal des potentiels évoqués réside dans la possibilité de relier temporellement, avec une grande précision, les différentes composantes qui les constituent aux événements très transitoires qui leur ont donné naissance. Ceci impose une triple contrainte : ces événements (stimuli) doivent être parfaitement identifiés, localisés temporellement avec une grande précision et reproductibles (du fait de la nécessité d'une sommation). Si les techniques d'imagerie cérébrale sont d'un grand intérêt pour la localisation spatiale des zones activées de l'encéphale (que l'on peut assimiler aux générateurs des ondes des potentiels évoqués), leur résolution temporelle reste faible, par rapport à celle des potentiels évoqués, qui reste la technique de choix pour l'étude de la dynamique des processus mis en jeu dans le traitement de l'information.

Comme le fait remarquer Näätänen (1992), la séquence des événements physiologiques du cerveau, reconstruite à partir des données de potentiels évoqués, peut être reliée aux stades psychologiques présumés du traitement de l'information, aux données subjectives et aux mesures objectives de performances. Dans le contexte de la conduite automobile, qui implique un traitement extrêmement rapide des informations prélevées dans l'environnement, les potentiels évoqués peuvent contribuer, de façon significative, à la compréhension de la genèse des accidents.

#### *a. Potentiels endogènes et potentiels exogènes*

Comme l'indiquent Coles & Rugg (1995), la dichotomie entre composants endogènes et exogènes des potentiels évoqués constitue une simplification des processus impliqués dans la survenue des différentes ondes observées. Ce que l'on peut dire, de façon schématique, c'est que la nature des composants varie en fonction de leur positionnement temporel dans la chaîne du traitement de l'information. Ainsi, plus les composants sont tardifs, plus ils sont endogènes. Les composants exogènes sont principalement déterminés par les caractéristiques du stimulus, tandis que les composants endogènes dépendent en grande partie des intentions et actions du sujet. Les composants exogènes, encore appelées obligatoires, sont relativement stables dans une condition de stimulation donnée, tandis que les composants endogènes montrent une grande variabilité et flexibilité, habituellement sous la dépendance de l'état interne variable du sujet, de son expérience antérieure, de ses intentions et décisions ; ils sont modulés par les paramètres de la tâche et les instructions expérimentales.

Donchin et al. (1978) avaient défini différents critères pour identifier les composants endogènes :

- Ils constituent des réponses non obligatoires aux stimuli. De plus, ils peuvent être produits en l'absence de stimulus, si une telle absence a un rôle approprié dans la tâche du sujet.
- L'amplitude, la latence et la disposition sur le scalp du potentiel sont souvent invariants aux changements des paramètres physiques des stimuli. Des stimuli tout à fait disparates, même dans des modalités différentes, produisent le même composant si leurs rôles sont équivalents.
- La variance des composants endogènes dépend de la variation des tâches assignées aux sujets.

### ***b. Potentiels évoqués et théories de l'attention***

Les composants précoces des potentiels évoqués correspondraient au traitement plus ou moins automatique des caractéristiques du stimulus. Mangun et Hillyard (1997) ont montré qu'il y avait une forte atténuation des ondes P1 et N1 lorsque le stimulus survenait dans une position inattendue. Ceci confirme l'hypothèse du filtre précoce (Treisman, 1988). Mais ce filtre n'est pas unique : on a pu identifier des négativités plus tardives correspondant au traitement sélectif d'autres attributs du stimulus tels que son orientation, ses dimensions, sa couleur (voir Näätänen, 1992). Ceci suggère que le traitement sélectif est effectué par une série de filtres temporellement différenciables pour aboutir à l'identification du stimulus en tant que cible.

Au-delà de cette sélection, à partir des attributs du stimulus, le traitement ne peut se poursuivre sans la mise en jeu d'une attention active en référence avec la tâche que le sujet doit exécuter. A ce niveau, le modèle des ressources indifférenciées, tel que l'a proposé Kahneman (1973) semble le plus approprié pour rendre compte des phénomènes observés et, tout particulièrement, des variations du complexe N2-P3 (cf. Annexe 1 : Description des tracés).

Il est important de différencier les composants N2a et P3a, d'une part, et les composants N2b et P3b, d'autre part, du fait de leurs significations différentes, même si cette différenciation n'est pas toujours évidente sur les tracés.

N2a et P3a correspondent vraisemblablement aux derniers stades des processus automatiques mis en jeu dans le traitement de l'information. Ils apparaissent en dehors de toute attention portée par le sujet au stimulus. Par ailleurs, Garcia-Larrea et al. (1993) ont montré qu'en modalité somesthésique, P3a prédomine dans l'hémisphère contro-latéral au membre stimulé contrairement à P3b qui est aspécifique du point de stimulation et se répartit symétriquement.

- N2a pourrait être l'indice de la détection automatique d'une déviance physique du stimulus. Ce composant est, en effet, sensible au degré de déviance.
- P3a serait, selon Guérit (1998) et Timsit-Berthier et Gerono (1998) le témoignage d'un processus automatique en relation avec une commutation involontaire de l'attention vers le stimulus.

N2b et P3b ont une toute autre signification. Ils ne dépendent plus spécifiquement du stimulus, mais sont fortement liés à la tâche du sujet, à ses attentes à sa motivation. Ces deux composantes co-varient et ne peuvent être observées en l'absence d'attention du sujet. Pour Timsit-Berthier et Gerono (1998), P3b traduit la mise en œuvre de processus contrôlés en lien étroit avec la mémoire de travail. Hillyard et al. (1978) considèrent que P3b exige une comparaison du stimulus avec la représentation qu'en a le sujet en mémoire et serait lié au processus de catégorisation. On peut admettre que P3b est la traduction du niveau d'astreinte du sujet, c'est-à-dire de la quantité de ressources que celui-ci alloue à la tâche, et non pas du niveau de contrainte imposé par la situation elle-même.

### ***c. P300 et les situations de double tâche***

Si l'on se réfère à la théorie des ressources indifférenciées, lorsqu'à une tâche donnée on ajoute une autre tâche, l'attention du sujet doit se partager entre les deux tâches et les ressources allouées à chacune d'entre elle doivent se répartir en fonction des instructions données au sujet et/ou de sa motivation pour l'une et l'autre des tâches.

Wickens et al. (1984) ont montré une diminution de l'amplitude de P300 lorsque l'on passe d'une situation de simple tâche à une situation de double tâche, traduisant un partage des ressources.

On peut enregistrer des potentiels évoqués sur l'une ou l'autre tâche ou alternativement sur chacune d'entre elle et on peut observer les différences d'amplitude de P300, selon que les tâches sont exécutées indépendamment ou ensembles. La plus ou moins grande diminution d'amplitude lorsque les tâches sont combinées par rapport à leur exécution de façon isolée traduira l'importance des ressources transférées à l'autre tâche.

Par rapport à nos objectifs de sécurité routière, les travaux qui ont été menés jusqu'à ce jour présentent deux types d'inconvénients :

- Le plus souvent, le sujet reçoit des instructions précises aboutissant à favoriser l'une des deux tâches. Cela peut être très intéressant dans une optique fondamentale pour homogénéiser les performances et les allocations de ressources des sujets. Dans un optique finalisée, il est par contre important de laisser au sujet une certaine liberté de hiérarchisation entre les deux tâches, en espérant que cette hiérarchisation spontanée reflétera, plus ou moins, celle du sujet hors situation expérimentale.
- Les situations de laboratoire, parfaitement contrôlées, sont généralement très éloignées des situations de la vie réelle. Se pose alors, le problème de la transposition des résultats. Notons, toutefois, les travaux de Garcia-Larrea et al. (2001) qui se rapprochent beaucoup de notre problématique : les sujets devaient détecter des signaux visuels cibles tout en téléphonant.

Notre objectif sera d'ajouter à une tâche de conduite, pour laquelle seront enregistrés des potentiels évoqués, une tâche de conversation téléphonique. Ces tâches seront effectuées en situation de conduite sur simulateur. Garcia-Larrea et al. (2001) avaient utilisé des stimulations périodiques afin d'observer un potentiel de préparation motrice (Readiness Potential) survenant avant le stimulus. On peut penser que cela doit minimiser les différences de temps de réaction et peut-être gommer des différences de latence de P300 entre les deux conditions (conduite seule et conduite avec téléphone). Aussi, nous stimulerons le sujet de façon aperiodique. De plus, nous utiliserons plusieurs prétextes de conversation téléphonique contrastés.

### ***2.2.3. Les paramètres du SNV***

Les interconnexions entre le SNV et le SNC permettent de comprendre comment s'établissent les corrélations entre fonctions mentales supérieures et manifestations neurovégétatives périphériques. Les réseaux nerveux qui contrôlent l'attention, sont impliqués dans la concentration mentale, mais ils contrôlent aussi les effecteurs végétatifs périphériques au cours de l'activité cognitive (Kubota et al, 2001) et provoquent des modifications à différents niveaux de l'organisme : activité des glandes sudoripares, modifications du diamètre des vaisseaux, accélération du rythme cardiaque ... De ce fait les indices neurovégétatifs peuvent être considérés comme des témoins indirects de l'activité du SNC. Les variations de l'activité du SNV ne sont cependant pas la traduction attentionnelle d'une tâche spécifique donnée lors d'un partage d'attention. Mais elles permettent d'évaluer les effets cumulatifs de plusieurs tâches et reflètent les nécessaires adaptations du sujet faisant face à des demandes multiples et

la possible saturation de ses capacités d'attention. Nous nous focaliserons sur la variabilité du rythme cardiaque.

### **a. La variabilité du rythme cardiaque**

Le rythme cardiaque n'est pas constant. Sa variabilité dépend de l'effort physique, mais elle peut aussi répondre à d'autres activités ou états. La variabilité du rythme cardiaque constitue un indice de l'attention, de l'effort mental, en résumé de la charge que la tâche fait peser sur le sujet (Lacey & Lacey, 1958, Kalsbeek & Ettema, 1963, Kahneman, 1973, Porges & Raskin, 1969, Sayers, 1973).

Cependant, indépendamment des causes extérieures, le rythme cardiaque présente aussi des fluctuations spontanées qui surviennent même si le sujet n'effectue aucune tâche particulière. Ces fluctuations sont plus ou moins périodiques et décrivent des cycles dont la fréquence varie de 0.40 Hz à  $10^{-5}$  Hz. On observe des variations cycliques de fréquence emboîtées dans des fluctuations de plus longues périodes. La variabilité totale se répartit dans ces différents cycles. Cette répartition est modifiée par les activités humaines. Il est possible de mettre en œuvre deux types de méthodes pour l'analyser : les méthodes statistiques descriptives et l'analyse spectrale.

### **b. Les méthodes statistiques descriptives**

Elles sont classiques et simples à mettre en œuvre (moyenne, écart-type). Elles ont été beaucoup utilisées pour étudier l'arythmie sinusale respiratoire, différence de rythme cardiaque entre les phases d'inspiration et d'expiration. Lorsque l'attention d'un individu est sollicitée et que sa charge mentale augmente, le rythme cardiaque s'accélère et l'écart type (différence entre inspiration et expiration) diminue. Cette méthode a été utilisée et validée par de nombreux auteurs (Mulder, 1985 et 1992 ; Richards & Casey, 1991 ; Weber, Van der Molen & Molenaar, 1994). Cependant, pour se libérer de l'effet de masque lié à la variabilité dans une bande de fréquence plus basse, on peut avoir recours à la méthode « *peak-to-valley* » qui consiste à comparer la différence moyenne entre la période cardiaque maximum pendant l'inspiration et la période cardiaque minimum pendant l'expiration, pour chaque cycle respiratoire (Grossman, van Beek & Wientjes, 1990). Elle permet d'analyser clairement les fluctuations du rythme dans les hautes fréquences mais pas les variations liées à des cycles plus longs. C'est pourquoi il est intéressant d'avoir recours à l'analyse spectrale.

### **c. Analyses spectrales**

Selon Berntson & al., (1997), « les méthodes spectrales produisent une décomposition de la variation totale des séries de données en composantes de fréquence qui peuvent être exprimées sous la forme d'une fonction de densité spectrale qui décrit la puissance spectrale en fonction de la fréquence. La puissance spectrale, pour une bande de fréquence donnée peut alors être quantifiée en dérivant la surface sous la fonction de densité spectrale à l'intérieur d'une gamme de fréquence déterminée ». Le spectre de variation de la fréquence cardiaque peut être décomposé en quatre bandes :

- Hautes fréquences (HF) : de 0.15 à 0.40 Hz
- Basses fréquences (BF) : de 0.04 à 0.15 Hz
- Très basses fréquences (TBF) : de 0.0033 à 0.04 Hz
- Ultra basses fréquences (UBF) : de 0.0000115 à 0.0033 Hz

Le contrôle du système orthosympathique sur le cœur est d'autant plus important que la répartition de la densité spectrale s'effectue en faveur des bandes de fréquence les plus basses. Les techniques les plus souvent utilisées sont la transformée de Fourier (FFT) et la modélisation autorégressive (AR). La principale difficulté réside dans l'acquisition et la mise en forme des signaux. La fréquence d'échantillonnage ne doit pas être inférieure à 250 Hz, d'où des fichiers volumineux (150000 données pour une expérience de 10 minutes avec une seule voie). Berntson & al. (1997) ont édicté des recommandations pour traiter les artéfacts, les battements cardiaques anormaux ou manquants (non détection), la non stationnarité des séries...

Une autre difficulté est liée au fait de disposer d'au moins une période du signal. La durée des expériences (situation relativement stable de 5 à 10 minutes) est incompatible avec l'obtention de la densité spectrale dans la bande des UBF. Bilge & al. (1999) proposent une méthode basée sur le théorème de Parseval. Ragozin & Kononov (2002) utilisent une méthode dérivée de celle de Walsh. Ragozin (2002) a montré l'intérêt de l'étude des UBF dans une expérience où il a comparé le spectre de variabilité cardiaque d'un sujet au repos et en train de focaliser son attention sur une tâche cognitive. Cette dernière provoque une diminution de la densité spectrale dans les HF et, corrélativement, une augmentation dans les UBF. Ceci pourrait constituer un indice de la demande attentionnelle dans des situations d'attention partagée en conduite automobile.

## 3. Méthodologie

### 3.1. Méthodologie générique

#### 3.1.1. *Rappel des objectifs*

La démarche de cette recherche expérimentale visait à intégrer dans une même approche des paramètres de performances (temps de réactions et erreurs), des paramètres physiologiques (enregistrement des fréquences cardiaques) et des paramètres neurophysiologiques (potentiels évoqués). Son objectif était de hiérarchiser différentes tâches distractives (téléphoner via un téléphone mains libres, écouter la radio et converser avec un passager) en fonction de leur impact sur la tâche de conduite.

#### 3.1.2. *Les deux types d'expérimentations*

La convention initiale prévoyait une recherche sur simulateur de conduite. Il n'était pas prévu d'effectuer une expérimentation en conduite réelle sur piste d'essai. Nous avons toutefois décidé de le faire afin de vérifier que les résultats obtenus n'étaient pas notablement différents de ceux fournis par les expérimentations sur simulateur.

Il est trivial de dire que la conduite sur simulateur n'est pas la conduite réelle et peut introduire des biais dans les résultats. Cependant, si ces résultats peuvent être contestés en valeur absolue, le parfait contrôle des conditions expérimentales autorise d'affirmer qu'en valeur relative le simulateur constitue le meilleur outil pour effectuer des comparaisons entre situations, les variables non contrôlées étant pratiquement inexistantes.

La configuration « conduite réelle sur piste » présente l'avantage de se rapprocher de la situation écologique de conduite, même si elle ne la reproduit pas parfaitement (trajectoire simple sur anneau, pauvreté ou absence totale de trafic). Il est clair que plus on contrôle les situations expérimentales, plus on s'éloigne des conditions écologiques qui sont, par nature, faites d'événements aléatoires. L'idéal est, bien sûr, de couvrir l'ensemble du champ allant du moins écologique, mais le mieux contrôlé, au plus écologique, mais le moins bien contrôlé. C'est la raison pour laquelle nous avons mis en œuvre une approche en conduite réelle sur la voie publique. Cette dernière approche, complémentaire mais non prévue dans le cadre de ce projet, pourra donner lieu à des résultats en 2004, les données n'étant actuellement pas disponibles.

**En résumé**, les résultats exposés dans ce rapport auront trait à deux expérimentations sur simulateur de conduite réalisées pour l'une en 2002, pour l'autre en 2003 et une expérimentation sur piste d'essai effectuée en 2003.

Ces expérimentations entrant dans le champ d'application de la loi du 20 décembre 1988 modifiée concernant les recherches biomédicales (avis du CCIERBC) ont reçu un avis favorable du CCPPRB de Lyon A, puis un avis favorable de la DGS. Les participants ont donc été reçus par le médecin investigateur qui a procédé à un examen médical préalable à chaque expérimentation, afin de s'assurer qu'ils satisfaisaient aux critères d'inclusion et ne présentaient aucun critère d'exclusion.

### **3.1.3. Choix des variables**

#### **a. Variables indépendantes (situations)**

##### ***Sur simulateur de conduite :***

- Conduite seule
- Conduite avec téléphone (3 types de conversation)
- Conduite avec écoute radio (un émission imposée identique à tous les sujets)

##### ***Sur piste d'essai :***

- Conduite seule
- Conduite avec téléphone (2 types d'appel téléphonique)
- Conduite avec écoute radio (3 émissions écoutées parmi 5 émissions proposées)
- Conduite avec conversation avec le passager
- Habitude du téléphone au volant

En outre, pour analyser la variabilité du rythme cardiaque, ces différentes tâches ajoutées ont toutes été réalisées également à l'arrêt dans le véhicule. De même, le paramètre cardiaque a été enregistré lors d'une séance de repos sans aucune tâche.

#### **b. Variables dépendantes**

##### ***Sur simulateur de conduite :***

- Potentiels évoqués cérébraux (amplitude et latence des ondes P300 et N200)
- Temps de réaction aux stimuli cibles
- Analyse des erreurs (plus spécialement des non détections du stimulus)
- Variabilité du rythme cardiaque
- Contrôle de l'exécution de la tâche ajoutée

##### ***Sur piste d'essai :***

- Temps de réaction en fonction des différentes situations (avec/sans tâche ajoutée, selon la tâche ajoutée)
- Analyse des erreurs (plus spécialement des non détections du stimulus)
- Variabilité du rythme cardiaque
- Contrôle de l'exécution de la tâche ajoutée

S'il est possible d'analyser le regard des conducteurs (nous disposons d'enregistrements vidéo), compte tenu des conditions expérimentales, ceci ne nous a pas paru pertinent. En effet, sur simulateur de conduite, les sujets avaient pour consigner de fixer leur regard sur l'arrière

du véhicule les précédant. Sur piste d'essai, l'absence de trafic et la simplicité des trajectoires amèneraient à une sous-estimation des différences entre situations, en termes de nombre et durées de fixations par rapport à une configuration en conduite sur voie publique. L'analyse des regards ne sera donc réalisée que dans cette dernière configuration (résultats en 2004, hors cadre de ce projet).

## **3.2. Méthodologie spécifique : SIMULATEUR**

Cette expérimentation s'est déroulée sur le simulateur de l'INRETS à Bron.

### ***3.2.1. Configuration d'ensemble***

La situation de conduite était une situation de suivi de véhicule ; en dehors de ce dernier, il n'y avait aucun trafic.

La tâche à réaliser était une tâche de discrimination entre des stimuli cibles et des stimuli neutres (ou leurres). Les sujets avaient à lever le pied en présence d'un stimulus cible et à ne rien faire lorsqu'un stimulus neutre était présenté. Les stimuli cibles étaient constitués par l'allumage d'un feu rouge à l'arrière du véhicule précédent (simulant un freinage). Les stimuli neutres étaient l'allumage d'un feu blanc, sans signification particulière, dans la même zone que les stimuli cibles, ce qui ne permettait pas une différence spatiale entre les deux stimuli. La différenciation n'était liée qu'à la couleur du feu.

Le paradigme utilisé était le paradigme oddball qui veut que le stimulus cible n'est pas celui dont la parution est la plus probable. Il a été montré que la meilleure répartition entre les stimuli est de 80% de stimuli neutres et de 20% de stimuli cibles. La répartition des stimuli est de type aléatoire. Il n'existe aucune périodicité entre les stimuli. Nous nous sommes conformés à ces principes et l'espacement entre les stimuli a été choisi entre 2 et 4.5 secondes interdisant ainsi, au sujet tout développement d'une stratégie basée sur une probabilité statistique d'apparition d'un stimulus donné.

Le simulateur utilisé était un simulateur à base fixe équipé d'un écran frontal avec champ de vision de 50° horizontal sur 40° vertical, et d'un écran arrière sur lequel étaient projetées 2 vues correspondant aux rétroviseurs central et latéral gauche. Le véhicule était un RENAULT ESPACE équipé de toutes les commandes classiques de conduite. Ce simulateur était équipé d'une chaîne de restitution de l'ambiance sonore interne (moteur, roulement, démarreur) et externe (trafic) reproduite sur les haut-parleurs du véhicule. Le logiciel utilisé était Sim<sup>2</sup>, la base de données images était la RN20 sans relief avec décors simplifié. Afin d'assurer une visibilité constante, le véhicule précédant (émettant les stimuli) était asservi au véhicule du simulateur. Ainsi la distance constante entre les deux véhicules était de 60 m. Le taux de rafraîchissement de l'image était de 30 images par seconde. Pour cela, des développements spécifiques ont été réalisés pour piloter le matériel d'enregistrement des potentiels évoqués. L'enregistrement des potentiels évoqués nécessite de disposer de signaux de synchronisation apparaissant simultanément aux stimuli de façon très précise (écart de temps de l'ordre de quelques ms). Simultanément aux stimuli apparaissant sur l'écran frontal (feux arrière du véhicule précédent) un carré lumineux (un par type de stimuli) est affiché sur un écran de contrôle, non visible par le sujet. L'allumage d'un de ces carrés est détecté par une cellule

photo-électrique et mis en forme pour synchroniser l'appareil d'enregistrement, avec une précision de l'ordre de la milliseconde.

L'acquisition des potentiels évoqués impose une contrainte quant à l'activité musculaire du sujet, qui doit être la plus réduite possible. Si ce n'est pas le cas, de nombreux parasites apparaissent sur les tracés, ce qui rend le traitement plus que délicat. Pour cette raison, des consignes ont été données aux sujets qui devaient bouger le moins possible, éviter les clignements de paupière. Des critères d'exclusion des sujets ont été établis tels que certaines pathologies qui s'accompagnent d'activité musculaire incontrôlée ou le port de lentilles de contact qui favorise le clignement d'yeux.

### **3.2.2. Description des tâches ajoutées**

Pour la raison énoncée ci-dessus, les tâches annexes ne pouvaient pas être très interactives. Les activités musculaires liées à la parole risquent alors de parasiter les signaux du cerveau. Il n'en demeure pas moins que, même si le sujet s'exprime peu, il est possible de faire varier le niveau d'attention accordé à des tâches par leur contenu cognitif.

Au cours des deux expérimentations, 4 tâches ajoutées ont été utilisées :

**En 2002**, il s'est agi de deux prétextes téléphoniques, au cours desquels, le sujet avait peu à intervenir :

- Téléphone vacance : récit purement factuel par l'expérimentateur de ses vacances
- Téléphone secrétaire : planification d'un voyage professionnel au cours de laquelle une secrétaire présentait des alternatives temporelles et des alternatives sur le choix du mode de transport. A l'aspect factuel (vous avez rendez-vous à tel endroit à telle heure), s'ajoutait un aspect résolution de problème (comment faire pour y parvenir de façon optimale).

Il en est résulté 3 situations de conduite : conduite seule, conduite + téléphone vacances, conduite + téléphone secrétaire.

**En 2003**, les tâches annexes étaient les suivantes :

- Emission radio traitant de la naissance d'Internet
- Calcul mental par téléphone : séries d'opérations (additions et soustractions) pour lesquelles le sujet devait donner une réponse au bout de 5 d'entre elles, ce qui minimisait son temps de parole, mais en même temps imposait un maintien en mémoire du résultat de l'opération précédente. Pour cela, quatre niveaux ont été étalonnés afin de placer chaque sujet dans une situation de demande attentionnelle la plus équivalente possible. Un petit test préalable à l'expérimentation nous a permis de déterminer un niveau de calcul mental à chacun.
  - Niveau 1 : additions et soustraction de nombres à 1 chiffre
  - Niveau 2 : additions et soustractions de nombres à 1 et 2 chiffres
  - Niveau 3 : additions et soustractions de nombres à 2 chiffres
  - Niveau 4 : additions et soustractions de nombres à 2 et 3 chiffres

Trois situations de conduite en ont résulté : conduite seule, conduite + radio, conduite + calcul au téléphone.

Après hésitation, nous avons décidé de ne pas faire participer les mêmes sujets dans les deux expérimentations. Nous avons craint, en effet, qu'il existe en 2003 un apprentissage rémanent de la tâche principale effectuée en 2002, celle-ci étant identique. Ceci nous interdit une comparaison directe avec les mêmes sujets sur l'ensemble des situations. Mais, sur un plan statistique, il n'y a aucune raison de penser que les sujets 2003 diffèrent notablement, en terme de ressources attentionnelles, des sujets 2002.

### *3.2.3. Acquisition des données*

#### *a. Potentiels évoqués cérébraux*

Les sujets ont été équipés d'un **casque comportant des électrodes** (ElectroCap®). Les différences de potentiels ont été essentiellement observées entre les électrodes frontales, centrales et pariétales (Fz, Cz, Pz) et l'électrode de référence (électrode cupule) positionnée au niveau du nez. Le signal était filtré (filtre passe bande) afin de faire émerger les ondes comprises entre 0.530Hz et 60Hz. Le tracé a subi une amplification différentielle entre les électrodes du scalp et l'électrode de référence. Nous avons procédé à une double procédure de réjection : de façon automatique (toute déviation supérieure à 100 $\mu$ V dans la fenêtre d'analyse était rejetée) et de façon manuelle (si certains signaux paraissaient suspects à l'œil). La fenêtre d'analyse était de 100ms avant le stimulus et de 600ms après.



Figure 2 : Configuration simulateur

Le traitement, tout comme l'acquisition, a été effectué au moyen du logiciel SYSTEM PLUS®, développé par la société Micromed, implanté sur un PC portable Compaq ARMADA®. Il a consisté en la sommation et le moyennage de tracés similaires entre eux synchronisés sur les stimuli identiques (stimuli cibles), afin d'éliminer l'activité stochastique qui masque le potentiel évoqué (cf. Annexe 2 : Méthode d'acquisition des PE). Ainsi, à partir d'une vingtaine de stimuli cibles, par situation, on aboutit à un potentiel évoqué unique qui est caractéristique de la situation. Le complexe N2-P3 étant maximum en Pz, seul les résultats issus de cette dérivation ont été pris en compte dans l'analyse (voir Annexe 3 :

Positionnement des électrodes). Les autres électrodes n'ayant servi qu'à juger de la cohérence d'ensemble.

### ***b. Données du rythme cardiaque***

Elles ont été recueillies au moyen d'électrodes bipolaires à usage unique placées de part et d'autre de la projection du cœur sur le thorax (partie haute du sternum et partie latérale gauche sous-costale). Le traitement visait à déterminer la fréquence moyenne et ses variations au cours de chaque situation de conduite. Pour cela, les intervalles R-R ont été mesurés par une technique de seuil afin de déterminer une suite temporelle de pseudo-périodes que l'on pouvait transformer en fréquences. Le traitement a ensuite été effectué de façon statistique.

### ***c. Temps de réaction***

Ils ont été enregistrés à l'aide de deux électrodes cupules placées sur le muscle jambier antérieur des sujets et séparées entre elles de 8 à 10 cm. La réaction musculaire, de même que les stimuli et le signal cardiaque, étaient enregistrés sur le PC Compaq ARMADA ®. Un curseur permettait de mesurer leur espacement temporel. Nous avons recueilli une vingtaine de temps de réaction par sujet pour chaque situation de conduite.

Tous les signaux ont été enregistrés à 256 Hz, on peut donc garantir une précision de l'ordre de 5 ms.

### ***d. Erreurs de détection***

Deux types d'erreurs peuvent être mis en évidence. Soit le sujet répond en présence d'un stimulus neutre alors qu'il n'aurait pas du le faire, il s'agit dans ce cas d'une fausse alerte. Soit le sujet ne répond pas à un stimulus cible, il s'agit alors d'une non détection. Dans cette condition de réponse bimodale, les deux types d'erreurs n'ont pas la même signification. Les fausses alertes traduisent essentiellement l'attitude plus ou moins prudente du sujet : en cas de doute sur la nature du stimulus, le sujet prudent, en vertu du principe de précaution, va le considérer comme un stimulus cible et répondre. En terme de sécurité, les conséquences d'une fausse alerte, bien que non nulles, sont relativement limitées. A l'inverse, une non détection signifie que le sujet, même s'il est de nature prudente, n'a pas perçu le stimulus ou l'a mal interprété. Pour un sujet qui prend des risques, ce peut être un pari perdu sur la nature du stimulus. Dans tous les cas, on notera une absence de réponse qui, transposée à la conduite réelle pourrait avoir des conséquences graves. Nous avons inclus dans le cadre des non détections, les détections tardives correspondant à un temps de réponse supérieur à 1 seconde, temps que nous avons considéré comme relativement long dans le contexte de notre expérimentation sur simulateur avec une tâche simple, une absence de trafic et un environnement dépouillé (à titre de comparaison, le temps de réaction moyen observé, tout sujets et toutes situations confondus, est de 408 ms).

### ***e. Contrôle de la tâche ajoutée***

Les questionnaires présentés aux sujets n'étaient pas très discriminants. Aussi leur utilisation a-t-elle été essentiellement qualitative pour s'assurer d'un minimum d'implication des sujets dans la tâche ajoutée. Lorsque ce n'a pas été le cas, on a recherché une cohérence avec les mesures objectives (forte amplitude de P3 en situation de double tâche). En ce qui concerne le

calcul mental les réponses peuvent être contrôlées de façon objective et pourraient être utilisées pour l'élaboration d'une typologie des sujets.

#### ***3.2.4. Caractéristiques des sujets***

Des critères d'exclusion ont été utilisés. Tout d'abord, il s'est agi d'éviter les sujets présentant des problèmes visuels ne leur permettant pas de discriminer aisément les stimuli et ce, afin d'obtenir des signaux les moins parasités possible. On a aussi évité de faire participer des sujets présentant des troubles du rythme cardiaques importants qui rendent problématique l'analyse de la fréquence cardiaque. Malgré ces précautions, certains sujets ont du être éliminés de l'échantillon a posteriori (10 au total) du fait de la mauvaise qualité de leurs signaux physiologiques ou pour des raisons de problèmes techniques inhérents à ce type d'expérimentation (électrode débranchée, impédances trop élevées, mauvais fonctionnement transitoire du logiciel...).

Au total, 39 sujets ont été inclus au cours des deux expérimentations, tous, à l'exception d'un d'entre eux (mais il avait 2 années de conduite accompagnée avant l'obtention du permis de conduire) possédant une expérience de conduite d'au moins trois ans et ayant parcouru un minimum de 20000 km au volant.

Au cours de l'expérimentation 2002, les sujets conservés dans l'échantillon ont été au nombre de 13 dont 8 femmes et 5 hommes, d'âge compris entre 25 et 55 ans (âge moyen 40 ans).

En 2003, sur 20 sujets ayant participé à l'expérimentation, seuls 4 ont été rejetés. L'échantillon dont les tracés ont été exploités s'est donc composé de 16 sujets dont 8 femmes et 8 hommes, d'âge compris entre 20 et 54 ans (âge moyen 30 ans).

#### ***3.2.5. Déroulement de l'expérimentation***

Après visite médicale les sujets étaient équipés des capteurs physiologiques et conduits au poste de conducteur du véhicule du simulateur où les branchements électriques étaient réalisés. L'enregistrement pour chaque sujet se déroulait sur trois périodes (situations) d'approximativement 7 minutes chacune, avec une pause entre les conditions. Les 3 conditions étaient présentées selon un plan tournant.

Pour les deux situations de conversation téléphonique de 2002 ainsi que pour la situation d'écoute radio de 2003 un questionnaire était présenté aux sujets à l'issue de chaque période afin de contrôler leur niveau d'implication dans la tâche ajoutée.

### 3.3. Méthodologie spécifique : PISTE D'ESSAI

L'expérimentation s'est déroulée sur la piste de l'INRETS à Satolas. Les temps de réaction des conducteurs ont été recueillis selon les différentes tâches ajoutées qu'ils ont effectuées. Ces temps de réaction ont été calculés sur la base d'un freinage consécutif à l'envoi d'une alarme, simulant l'annonce d'un incident sur la voie par un système anti-collision. Le rythme cardiaque a également été enregistré, afin de d'évaluer les variations de la demande attentionnelle liée à chaque tâche.

#### 3.3.1. Plan expérimental

Les sujets ont tout d'abord été conduits sur la piste de l'INRETS à Satolas, dans le véhicule expérimental équipé (Citroën ZX, voir équipement en Annexe 4).

L'expérimentation proprement dite s'est déroulée en trois phases :

- **Phase 1** : Cette phase a consisté en l'enregistrement du rythme cardiaque au repos dans le véhicule expérimental, puis alors que les sujets effectuaient successivement les différentes tâches sans conduire.

Cette séquence a été suivie d'une séquence de prise en main du véhicule expérimental, à l'appréciation des sujets. Cette séquence se devait d'être d'une durée variable, mais suffisante, pour que chaque sujet puisse le maîtriser correctement.

- **Phase 2** : Une première expérimentation a ensuite commencé avec l'enregistrement des paramètres cardiaques en conduite (conduite seule puis succession des différentes tâches ajoutées). Les différentes tâches se sont succédées conformément à un plan tournant afin de limiter un éventuel effet d'ordre et un effet de fatigue.

Cette expérimentation a été suivie d'une nouvelle phase de familiarisation au cours de laquelle les sujets ont effectué une série de freinages d'urgence.

- **Phase 3** : Une seconde expérimentation nous a permis d'enregistrer les temps de réaction (freinages consécutifs à l'allumage de diodes simulant un système anti-collision). Comme précédemment, les différentes séquences (conduite seule puis conduite avec tâche ajoutée) se sont succédées conformément à un plan tournant afin de limiter un éventuel effet d'ordre et un effet de fatigue.

Enfin, un **entretien** a eu lieu afin d'obtenir le plus d'informations possibles sur la façon dont les sujets ont partagé leur attention entre les différentes tâches ajoutées.

La durée de l'expérimentation était d'environ 3 heures (déplacement vers la piste inclus). Les sujets effectuaient environ 1h30 heure de conduite (2 phases de conduite + temps de prise en main du véhicule inclus).

### **3.3.2. Réalisation des tâches ajoutées**

Quatre tâches ajoutées ont été réalisées par chaque sujet au cours des trois phases :

- Ecoute d'une émission de radio
- Calcul mental au téléphone
- Conversation téléphonique
- Conversation avec le passager

Durée de chaque tâche : environ 3 minutes.

#### **a. Ecoute d'une émission de radio**

Afin de s'assurer d'un minimum d'écoute de la part des sujets, plusieurs émissions radiophoniques ont été enregistrées, chaque sujet devrait en choisir trois (une pour chacune des trois phases) en fonction de ses centres d'intérêt.

Les thèmes d'émissions proposés étaient les suivants :

- 1. Politique et journaliste
- 2. Insécurité : mythe ou réalité
- 3. La Voisin ou la tueuse du XVII<sup>ème</sup> siècle
- 4. Connexion avec le monde d'Internet
- 5. Maigrir à la télévision : est-ce bien raisonnable ?

#### **b. Calcul mental au téléphone**

Les sujets ont été amenés à effectuer des calculs mentaux (additions et soustractions) au téléphone équivalents à ceux effectués dans les expérimentations sur simulateur avec enregistrement des potentiels évoqués. Quatre niveaux ont été étalonnés afin de placer chaque sujet dans une situation de demande attentionnelle la plus équivalente possible. Un petit test préalable à l'expérimentation nous a permis de déterminer un niveau de calcul mental à chacun.

- Niveau 1 : additions et soustraction de nombres à 1 chiffre
- Niveau 2 : additions et soustractions de nombres à 1 et 2 chiffres
- Niveau 3 : additions et soustractions de nombres à 2 chiffres
- Niveau 4 : additions et soustractions de nombres à 2 et 3 chiffres

Outre l'impact de la tâche secondaire sur la tâche de conduite, la dégradation potentielle de la tâche ajoutée a été observée, par l'évaluation des résultats obtenus aux calculs à l'arrêt (phase1) et en conduite (phase 2).

#### **c. Conversation téléphonique et conversation avec le passager**

Six prétextes à communication ont été utilisés en faisant varier la demande cognitive (questions simples, résolution de problèmes...). La trame de chacun de ces prétextes est donnée en Annexe 5). Trois prétextes (correspondant à chacune des trois phases expérimentales) ont été utilisés pour les discussions avec passager et les trois autres pour les

communications téléphoniques selon un ordre tournant. Les mêmes prétextes ont été alternativement utilisés au téléphone et avec le passager.

Une étude des réponses des sujets sera réalisée ultérieurement (temps de silence, réponses plus ou moins écourtées...) entre séquences de téléphone à l'arrêt et séquences de téléphone en conduite, afin de vérifier si les sujets répondent de la même façon, lorsqu'ils sont en train de conduire, ou non : utilisent-ils plus de mots, enregistre-t-on des temps de silence plus longs, sont-ils plus satisfaits des réponses qu'ils ont données ? Se souviennent-ils mieux de la conversation ?

### **3.3.3. Acquisition des données**

#### **a. Enregistrement des temps de réponse (3<sup>ème</sup> phase)**

Au cours de chaque séquence (conduite seule puis conduite avec tâches ajoutées) de la troisième phase de conduite, les conducteurs ont été amenés à réaliser des freinages consécutifs à l'allumage de diodes simulant un système d'alerte anti-collision. Le dispositif consistait en une barre de diodes dont les pavés centraux pouvaient s'allumer soit en orange (carré supérieur) soit en rouge (deux carrés inférieurs). Un réglage du volant préalable nous a permis de nous assurer que celles-ci étaient bien visibles par chaque conducteur. Deux conditions ont été testées :

- allumage des diodes oranges : le conducteur lève le pied de l'accélérateur
- allumage des diodes rouges : freinage d'urgence avec arrêt du véhicule

Quatre temps ont été enregistrés pour chaque sujet (deux levés le pied de l'accélérateur et deux appuis sur frein) dans chaque condition. Les temps de réaction ont été enregistrés à 50Hz.

#### **b. Données cardiaques**

Enfin, l'étude des paramètres cardiaques nous a permis d'évaluer l'augmentation de la charge mentale liée à la réalisation de deux tâches simultanées, par rapport à la réalisation de la seule tâche de conduite. Ces données ont été recueillies au cours de la deuxième phase de conduite (sans consigne de freinage), au moyen d'électrodes bipolaires à usage unique placées de part et d'autre de la projection du corps sur le thorax (partie haute du sternum et partie latérale gauche sous-costale). Une électrode de terre était placée au niveau de l'omoplate gauche. Le traitement visait à déterminer la fréquence moyenne et ses variations au cours de chaque situation de conduite. Pour cela, les intervalles R-R ont été mesurés par une technique de seuil afin de déterminer une suite temporelle de pseudo-périodes que l'on pouvait transformer en fréquence. Le traitement a ensuite été effectué de façon statistique.

### **3.3.4. Caractéristiques des sujets**

**Vingt-six sujets** de 21 à 50 ans (âge moyen : 32.8 ans) ont participé à cette expérimentation. Cette population était composée de 12 femmes et 14 hommes.

Trois groupes de conducteurs ont été établis en fonction de leur habitude de téléphoner au volant. Pour cela, il a été demandé à chaque sujet de préciser le nombre d'appels qu'il recevait en moyenne par semaine, ainsi que le nombre d'appels qu'il passait en moyenne en une semaine :

- Groupe 1 : conducteurs téléphonant **exceptionnellement** au volant (de quelques fois par an à quelques fois par mois) **N = 8**
  - Groupe 2 : conducteur téléphonant **régulièrement** au volant (plusieurs fois par semaine) **N = 9**
  - Groupe 3 : conducteur téléphonant **tous les jours** au volant **N = 9**
- Parmi ce dernier groupe 6 personnes appelaient environ une fois par jour et 3 personnes appelaient régulièrement plusieurs fois par jour.

Les **données cardiaques** ont été enregistrées pour 14 de ces sujets. Suite à des difficultés pour lire certains tracés comportant beaucoup de bruit, les tracés de 10 sujets ont été retenus. Ceux-ci étaient âgés de 21 à 49 ans (âge moyen : 29,9 ans). Cette population était composée de 5 femmes et 5 hommes. Cinq d'entre eux téléphonaient de façon exceptionnelle, deux d'entre eux de façon régulière et trois journalièrement.



## 4. Résultats

### 4.1. Résultats SIMULATEUR 2002

#### 4.1.1 Potentiels évoqués cérébraux

Pour le calcul des potentiels évoqués, n'ont été analysées que les courbes correspondant aux stimuli cibles et nous ne présenterons ici que les résultats correspondant aux données recueillies au niveau de l'électrode pariétale (Pz).

##### a. Latence de l'onde N2

Cette latence exprime le temps nécessaire à l'action des processus automatiques pour analyser les attributs des stimuli. Elle ne varie que peu en fonction des situations :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Sans téléphone</b>	212 ms	13	10,00
<b>Téléphone vacances</b>	223 ms	11	24,23
<b>Téléphone secrétaire</b>	212 ms	12	10,81

Tableau I : Latence de N200 par condition (N = nombre de sujets)

##### b. Amplitude de l'onde N2

L'amplitude de N2 est beaucoup moins stable que sa latence. De plus, les valeurs extrêmes sont de  $-12.52 \mu\text{V}$  et de  $+9.27 \mu\text{V}$ . Ces résultats inattendus (N2 souvent positif) sont vraisemblablement dus à une instabilité du zéro électrique lors de l'acquisition. Si cela est vrai, cette instabilité devrait se répercuter sur l'onde P3.

##### c. Latence de l'onde P3

Nous avons choisi de mesurer la latence du pic de l'onde et non pas celle de son début qui est souvent bien moins identifiable, ce qui pourrait biaiser les comparaisons entre situations. Pour cette raison, cette latence est relativement longue. Elle s'avère assez stable :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Sans téléphone</b>	435 ms	13	38.58
<b>Téléphone vacances</b>	436 ms	11	39.02
<b>Téléphone secrétaire</b>	431 ms	12	33.01

Tableau II : Latence du P300 par condition (N = nombre de sujets)

#### *d. Amplitude de l'onde P3*

C'est le paramètre qui nous intéresse en priorité puisqu'il traduit l'attention accordée à la tâche de conduite. Si donc on ajoute une autre tâche demandant de l'attention, l'amplitude de P3 devrait diminuer en fonction de l'importance de cette demande :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Sans téléphone</b>	16.38 $\mu$ V	13	5,58
<b>Téléphone vacances</b>	16.41 $\mu$ V	11	7,31
<b>Téléphone secrétaire</b>	13.44 $\mu$ V	12	7,02

Tableau III : Amplitude du P300 par condition (N = nombre de sujets)

Nous avons effectué un traitement statistique (t de Student) selon la procédure des séries appariées : les sujets étant les mêmes pour les trois situations, nous pouvons comparer leur onde P3 entre chaque situation en les considérant deux par deux :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Sans téléphone vs Téléphone vacances</b>	11	10	-0.53	NS
<b>Sans téléphone vs Téléphone secrétaire</b>	12	11	1.99	NS (a < 0.09)
<b>Téléphone vacances vs Téléphone secrétaire</b>	10	9	2.09	NS (a < 0.09)

Tableau IV : Comparaisons entre conditions (Test de Student)

Aucune comparaison ne fait apparaître de différence significative ; seules les deux dernières montrent des tendances.

#### *e. Amplitude de la différence P3-N2*

Si le zéro électrique varie, il peut tantôt accroître P3 et diminuer N2 et tantôt accroître N2 et diminuer P3. Ceci explique les valeurs positives de N2 qui ont été observées et les faibles variations de l'amplitude de P3. Par contre, quelle que soit la position du zéro, la différence d'amplitude entre P3 et N2 restera stable. Ces ondes étant toutes deux des indices du contrôle attentionnel puisqu'elles sont absentes lorsqu'il n'y a pas d'attention, il est légitime d'utiliser leur différence d'amplitude comme indice de l'attention apportée à la tâche de conduite. Les valeurs moyennes de P3-N2 ont été les suivantes (Tableau V et Figure 3) :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Sans téléphone</b>	21.05 $\mu$ V	13	8.16
<b>Téléphone vacances</b>	15.09 $\mu$ V	11	7.52
<b>Téléphone secrétaire</b>	13.90 $\mu$ V	12	6.60

Tableau V : Amplitude P300-N200 par condition (N = nombre de sujets)

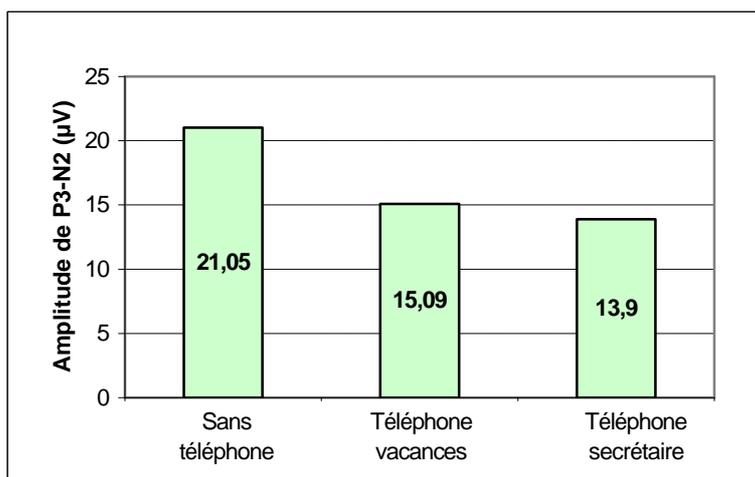


Figure 3. Amplitude de différence P3-N2 selon les situations.

Le traitement statistique en séries appariées donne les résultats suivants :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Sans téléphone vs Téléphone vacances</b>	11	10	1.19	NS
<b>Sans téléphone vs Téléphone secrétaire</b>	12	11	4.61	S (a < 0.001)
<b>Téléphone vacances vs Téléphone secrétaire</b>	10	9	1.25	NS

Tableau VI : Comparaisons entre conditions (Test de Student)

En conclusion sur les potentiels évoqués cérébraux nous constatons :

- Une bonne stabilité et des valeurs cohérentes des latences des ondes N2 et P3.
- Des valeurs aberrantes des amplitudes des ondes liées à une instabilité du zéro électrique.
- Une différence significative de l'amplitude de l'indice P3-N2 entre les situations « Sans téléphone » et « Téléphone secrétaire » et pas de différence significative dans les deux autres comparaisons.

La décroissance de l'amplitude de P3-N2 de 34% entre « sans téléphone » et « téléphone secrétaire » confirme notre hypothèse selon laquelle la situation « téléphone secrétaire » devait être celle qui s'accompagnerait d'une plus forte diminution de l'attention portée à la tâche de conduite en comparaison à la situation « téléphone vacances » purement narrative. L'examen des résultats individuels montre cependant qu'il existe de fortes différences selon les sujets.

#### 4.1.2. Temps de réponse

Rappelons que, selon nos hypothèses, les temps de réponse moyens devaient augmenter en présence d'une tâche ajoutée et que cette augmentation devait être d'autant plus importante que la tâche ajoutée était plus exigeante en attention. Les résultats mesurés sont les suivants (Tableau VII et Figure 4) :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Sans téléphone</b>	379 ms	13	42.5
<b>Téléphone vacances</b>	413 ms (+ 9%)	13	56.9
<b>Téléphone secrétaire</b>	443 ms (+ 17%)	13	57.2

Tableau VII : Temps de Réponse par condition (N = nombre de sujets)

La situation « téléphone secrétaire » provoque une augmentation des temps de réaction de 17% par rapport à la conduite seule alors que l'augmentation pour « téléphone vacances » n'est que de 9%.

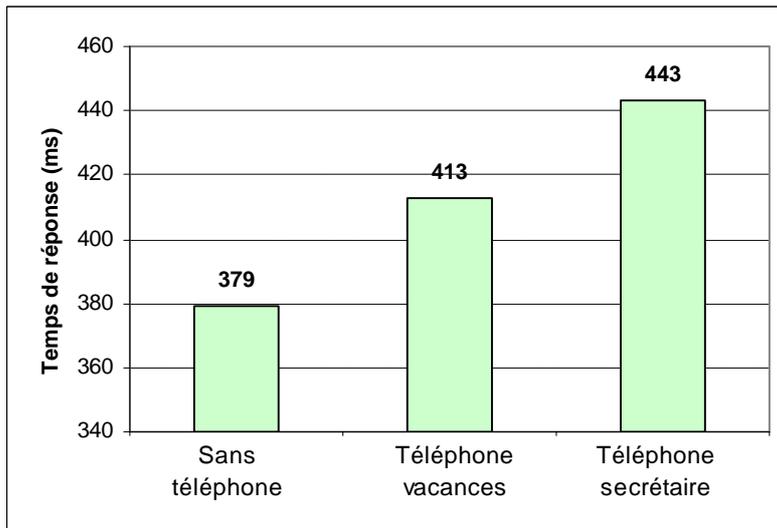


Figure 4. Temps de Réponse par situation

Notons que, comme pour les potentiels évoqués, il existe une variabilité individuelle importante. Ainsi, entre les deux conditions extrêmes, la différence n'est que de 9% pour le sujet 9 alors qu'elle atteint 46% pour le sujet 4, ce qui représente une augmentation notable dans des conditions de simulateur relativement simples avec une absence de trafic.

Le traitement statistique des données en séries appariées indique les résultats suivants :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Sans téléphone vs Téléphone vacances</b>	13	12	3.03	S ( $\alpha < 0.02$ )
<b>Sans téléphone vs Téléphone secrétaire</b>	13	12	4.57	S ( $\alpha < 0.001$ )
<b>Téléphone vacances vs Téléphone secrétaire</b>	13	12	3.13	S ( $\alpha < 0.01$ )

Tableau VIII : Comparaisons entre conditions (Test de Student)

En conclusion, les résultats confirment les hypothèses.

#### 4.1.3. Non-détections

Nous avons émis l'hypothèse que plus l'attention était accaparée par la tâche ajoutée, plus les sujets risquaient de ne pas percevoir le stimulus cible ou de l'identifier comme tel. La tâche de conduite étant cependant relativement simple, nous ne nous attendions pas à un nombre important de non-détections. Les résultats suivants montrent qu'il y a trois fois plus de non-détections en situation « téléphone secrétaire » que sans téléphone.

	Nombre de N-D	Nombre de stimuli cibles (feux rouges) par condition	Pourcentage
<b>Sans téléphone</b>	5	273	1.8%
<b>Téléphone vacances</b>	7	260	2.7%
<b>Téléphone secrétaire</b>	14	260	5.4%
<b>Total</b>	26	793	3.3%

Tableau IX : Nombre de Non Détections (N-D) par condition

Il s'est produit 13 fausses alarmes mais elles sont réparties de façon à peu près égales entre les trois situations. Ceci confirme le fait qu'une fausse alarme constitue un indice de la prudence du sujet plutôt qu'une manifestation de la perturbation par la tâche ajoutée.

#### 4.1.4. Variation du rythme cardiaque

Compte tenu du caractère diversement motivant selon les individus des prétextes à communication téléphonique, nous ne nous attendions pas à des effets spectaculaires sur les paramètres cardiaques. Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus.

	Nombre de sujets	Fréquence moyenne	Ecart-type
<b>Sans téléphone</b>	13	77.4	6.53
<b>Téléphone vacances</b>	13	79.0	5.47
<b>Téléphone secrétaire</b>	13	81.0	5.06

Tableau X : Variabilité de rythme cardiaque en fonction des situations.

L'effet sur les fréquences cardiaques reste modéré puisque, entre les situations extrêmes, l'augmentation du rythme cardiaque n'est que de 3.6 bat/minute (4.7%). L'examen des écarts-types va dans le sens d'une régularisation de la fréquence cardiaque en situation de double tâche, l'arythmie diminuant de 22.5% entre les situations extrêmes.

Les tests statistiques (t de Student sur des valeurs centrées-réduites) n'indiquent, pour les fréquences cardiaques, qu'une seule différence significative, entre « sans téléphone » et « téléphone secrétaire ». Ce résultat est conforme à nos hypothèses, la situation « téléphone vacances » n'étant pas censée accroître notablement la charge mentale.

	N	ddl	t	Significativité
<b>Sans téléphone vs Téléphone vacances</b>	13	12	1.39	NS
<b>Sans téléphone vs Téléphone secrétaire</b>	13	12	2.75	S (a < 0.02)
<b>Téléphone vacances vs Téléphone secrétaire</b>	13	12	1.48	NS

Tableau XI : Comparaisons entre situations (Test de Student)

En ce qui concerne les écarts types, aucune différence n'est significative bien que les variations soient relativement plus importantes que pour les moyennes des fréquences.

#### 4.1.5. Corrélation entre potentiels évoqués cérébraux et temps de réponse

Bien qu'ayant une signification différente, les temps de réponse et l'amplitude de P3-N2 font tous deux appel à un critère de détection des signaux. Aussi, il existe une bonne probabilité que l'on puisse observer une co-variation : plus l'amplitude de P3-N2 serait élevée, plus les temps de réponse seraient courts. Nous avons donc effectué la recherche d'une corrélation entre les Temps de Réponse pour l'ensemble des situations et les amplitudes correspondantes du complexe P3-N2.

Résultat : N (nombre de données) = 34 ; d.d.l. = 32 ; r = 0.57 ; significativité (a < 0.01)

L'équation de la droite de régression correspondante est la suivante (Figure 5) :

$$\text{P3-N2 en } \mu\text{V} = 49.5454 - (0.07961 \text{ T.R. en ms})$$

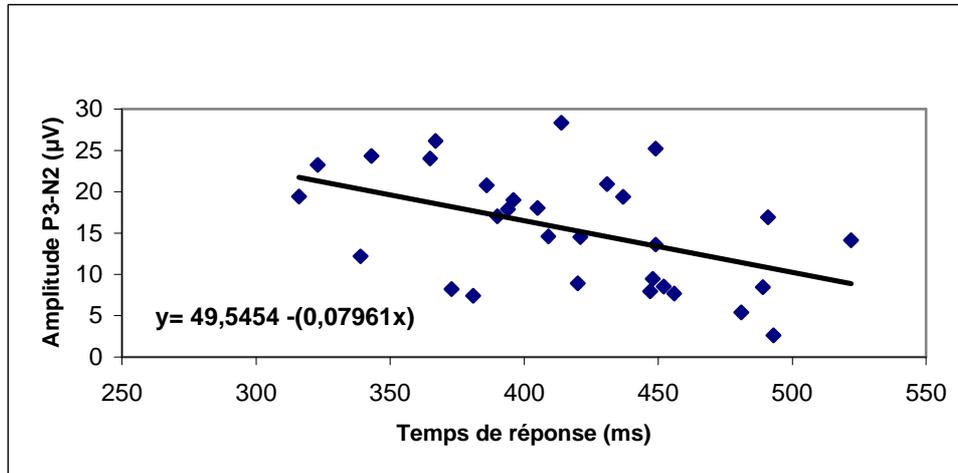


Figure 5. Corrélation entre les Temps de Réponse et l'Amplitude de P3-N2.

#### 4.1.6. Corrélation entre variabilité cardiaque et temps de réponse

Les temps de réponse étant censés augmenter avec la charge mentale, nous pensions obtenir une corrélation entre ceux-ci et les différences de fréquence cardiaque entre situations calculées par rapport à la moyenne de chaque sujet. Les résultats n'indiquent qu'une tendance (a < 10%) non significative. Considérant que la source de relâchement du lien entre ces deux variables provenait de la situation « téléphone vacances » qui a provoqué des comportements hétérogènes des sujets, nous avons tenté une recherche de corrélation en ne retenant que les valeurs des situations « téléphone secrétaire » et « sans téléphone ». les résultats sont les suivants :

Résultat : N (nombre de données) = 26 ; d.d.l. = 24 ; r = 0.423 ; significativité a < 0.05

L'équation de la droite de régression correspondante est la suivante (Figure 6) :

$$\text{? FC en bat/min} = (0.0276 \text{ T.R. en ms}) - 11.3497$$

Nous n'avons pas trouvé de corrélation négative entre l'amplitude de P3-N2 et la variabilité cardiaque. Ceci est du au fait que l'effet de la tâche secondaire sur l'attention était variable selon les sujets et que, de ce fait, la contribution respective de chacune des deux tâches (conduite et téléphone) dans la charge mentale était tout aussi variable.

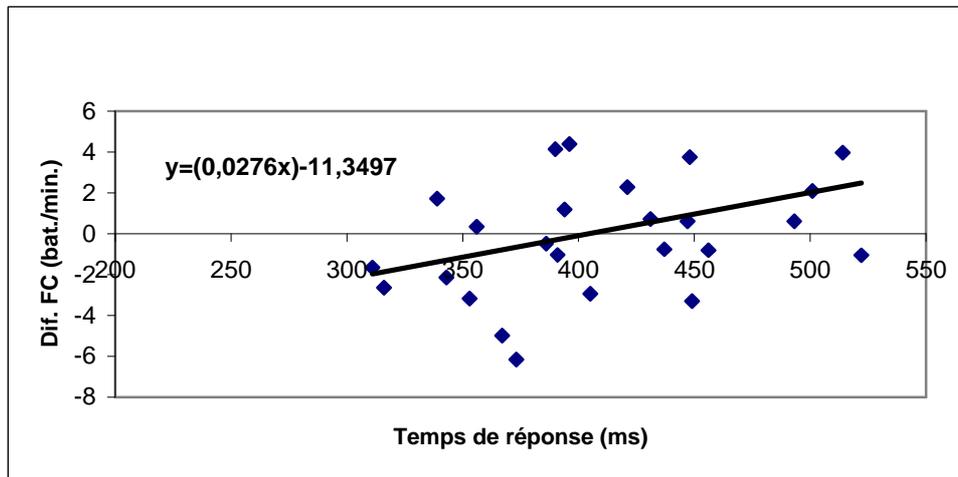


Figure 6. Corrélation entre variabilité cardiaque et temps de réponse (deux situations).

## 4.2. Résultats SIMULATEUR 2003

De façon globale, l'expérimentation s'est déroulée dans d'excellentes conditions avec des tracés de très bonne qualité pour l'ensemble des variables. Plus particulièrement, on a eu que peu de parasitage au niveau des signaux EEG (seuls 4 sujets sur 20 ont du être exclus de l'expérimentation). Les résultats ci-dessous ont été obtenus à partir des données recueillies sur 16 sujets (8 femmes et 8 hommes) d'âge moyen de 30 ans et extrêmes de 20 à 54 ans.

### 4.2.1. Potentiels évoqués cérébraux

Comme pour la première expérimentation, seules les données correspondant aux stimuli cibles, enregistrées au niveau de l'électrode Pz ont été exploitées.

#### a. Latence de l'onde N2

Celle-ci reste relativement stable pour les différentes conditions et varie seulement selon les sujets, certains ayant des latences plus longues que d'autres indépendamment des situations.

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	226 ms	16	12.89
<b>Ecoute radio</b>	228 ms	16	17.12
<b>Téléphone calcul mental</b>	231 ms	16	20.03

Tableau XII : Latence du N200 par condition (N = nombre de sujets)

#### b. Amplitude de l'onde N2

Comme P3, N2 peut représenter un indice du contrôle attentionnel de la tâche permettant de donner une valeur sémantique au stimulus. Cependant, compte tenu des faibles variations de cette onde nous n'espérons pas de différences significatives selon les situations. Les résultats obtenus sont les suivants :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	-3.41 $\mu$ V	16	2.24
<b>Ecoute radio</b>	-2.41 $\mu$ V	16	2.40
<b>Téléphone calcul mental</b>	-0.68 $\mu$ V	16	3.17

Tableau XIII : Amplitude du N200 par condition (N = nombre de sujets)

Un traitement statistique des données par séries appariées (t de Student) fait apparaître les résultats suivants :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Conduite seule vs Ecoute radio</b>	16	15	1.27	NS
<b>Conduite seule vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	3.20	S (a < 0.01)
<b>Ecoute radio vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	2.42	S (a < 0.05)

Tableau XIV : Comparaisons entre situations (Test de Student)

### c. Latence de l'onde P3

Elle est relativement stable d'une situation à l'autre ; la faible augmentation constatée en double tâche n'est pas significative compte tenu de l'importante variabilité individuelle.

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	437 ms	16	28.09
<b>Ecoute radio</b>	442 ms	16	30.69
<b>Téléphone calcul mental</b>	446 ms	16	28.05

Tableau XV : Latence du P300 par condition (N = nombre de sujets)

### d. Amplitude de P3

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	15.79 $\mu$ V	16	3.74
<b>Ecoute radio</b>	16.00 $\mu$ V (+ 1%)	16	4.51
<b>Téléphone calcul mental</b>	10.63 $\mu$ V (-33%)	16	4.50

Tableau XVI : Amplitude du P300 par condition (N = nombre de sujets)

On constate une diminution de 33% entre la condition « Conduite seule » et celle « Téléphone calcul mental ». L'écoute radio n'a par contre aucun effet démobilisateur de l'attention de la tâche de conduite. Le traitement statistique en séries appariées confirme les résultats suivants :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Conduite seule vs Ecoute radio</b>	16	15	-0.27	NS
<b>Conduite seule vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	6.53	S (a < 0.001)
<b>Ecoute radio vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	5.25	S (a < 0.001)

Tableau XVII : Comparaisons entre situations (Test de Student)

### e. Différence d'amplitude P3-N2

L'amplitude de N2 et celle de P3 présentant des différences significatives entre les situations « Conduite seule » et « Ecoute radio » d'une part et « Téléphone calcul mental » d'autre part, on peut s'attendre à observer des différences similaires pour P3-N2. L'intérêt d'examiner ce paramètre est de pouvoir comparer les résultats de cette expérimentation à ceux obtenus en 2002.

	Moyenne	N	Ecart-Type
<b>Conduite seule</b>	19.20 $\mu$ V	16	3.94
<b>Ecoute radio</b>	18.41 $\mu$ V (-4%)	16	5.91
<b>Téléphone calcul mental</b>	11.32 $\mu$ V (-41%)	16	4.91

Tableau XVIII : Différence d'amplitude P3-N2 par condition (N = nombre de sujets)

On constate une diminution de l'amplitude de P3-N2 de 41% lorsque l'on passe de la situation « conduite seule » à « Téléphone calcul mental » (Figure 7).

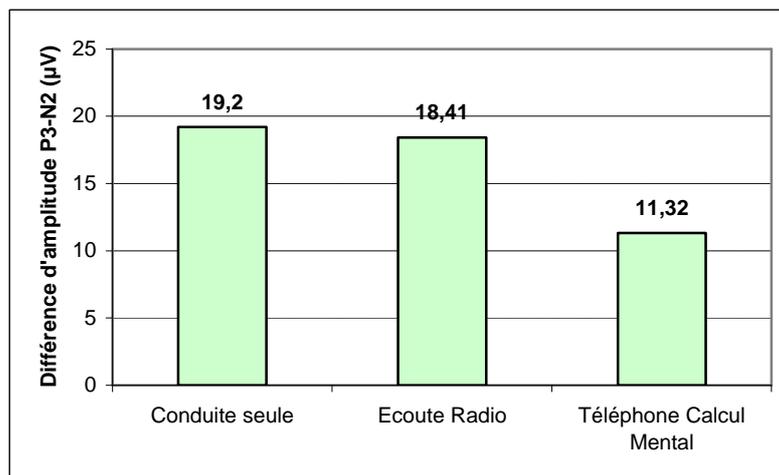


Figure 7 : Différence P3-N2 par condition

Notons qu'il existe de fortes différences individuelles. Ainsi, pour ne prendre que des exemples extrêmes, cette réduction va jusqu'à 81.5% chez le sujet 13 et elle n'est que de 1.7% chez le sujet 15. On peut observer la répartition des sujets en fonction du taux de réduction de l'amplitude de P3-N2 :

Taux de réduction (%)	< 10	10 à 30	30 à 50	50 à 70	> 70
<b>Nombre de sujets</b>	2	3	5	4	2

Tableau XIX : Répartition des sujets en fonction du taux de réduction de l'amplitude P3-N2

L'analyse statistique montre bien évidemment les différences significatives attendues :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Conduite seule vs Ecoute radio</b>	16	15	0.65	NS
<b>Conduite seule vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	6.76	S (a < 0.001)
<b>Ecoute radio vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	4.52	S (a < 0.001)

Tableau XX : Comparaison entre conditions (Test de Student)

En conclusion sur l'examen des potentiels évoqués cérébraux, les hypothèses de base sont vérifiées. L'impact sur les ressources attentionnelles de l'écoute radio est minime, voire inexistante. A l'inverse cet impact est très important lorsque le sujet exécute des opérations de calcul mental au téléphone. Dans cette condition, 38% des sujets présentent une réduction de plus de la moitié de l'amplitude de P3-N2, témoignant d'une très importante quantité de ressources en attention détournées de la tâche de conduite au profit de la tâche de téléphonie.

#### 4.2.2. Temps de réponse

Les résultats sont conformes aux attentes :

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	375 ms	16	53.55
<b>Ecoute radio</b>	383 ms (+ 2%)	16	40.19
<b>Téléphone calcul mental</b>	477 ms (+ 27%)	16	68.03

Tableau XXI : Temps de Réponse par condition (N = nombre de sujets)

Alors que les temps de réponse sont très proches entre « conduite seule » et « écoute radio », l'adjonction de la tâche de calcul mental au téléphone s'accompagne d'une augmentation de 27% des temps de réponse (Figure 8).

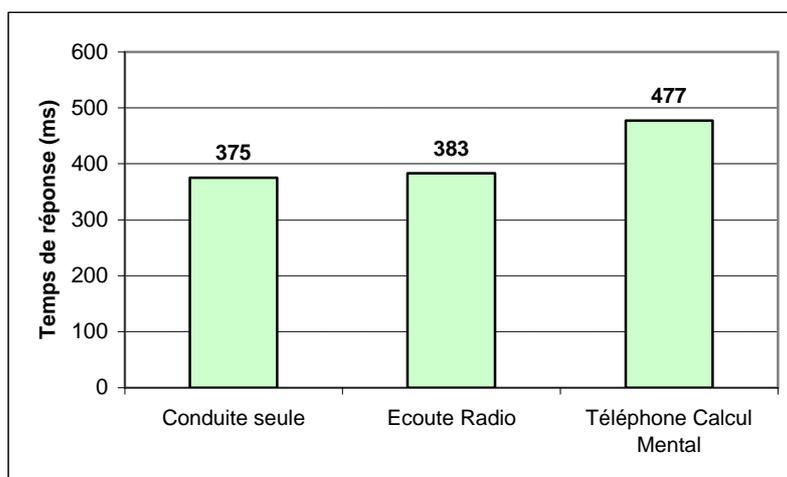


Figure 8 : Temps de Réponse par situation

Les tests statistiques indiquent la significativité de ces résultats :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Conduite seule vs Ecoute radio</b>	16	15	1.07	NS
<b>Conduite seule vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	11.88	S ( $\alpha < 0.001$ )
<b>Ecoute radio vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	7.71	S ( $\alpha < 0.001$ )

Tableau XXII : Comparaison de conditions (Test de Student)

Toutes les réponses aux stimuli- cibles ont été prises en compte excepté les temps de réponse très longs (> 1 seconde). Par ailleurs, les temps de réponse très longs (> 1 seconde) ont été exclus et considérés comme des détections tardives, pour lesquelles l'accident devenait probable en situation écologique. Ces détections tardives ne pouvaient être comptées deux fois et nous avons opté pour leur intégration dans les non-détections. Leur réintégration dans les temps de réponse aboutirait à une augmentation moyenne entre les situations extrêmes supérieure à 30%.

#### 4.2.3. Non-détections (et détections tardives)

Leur effectif global a été de 39. Leur répartition selon les situations s'établit de la façon suivante :

	Nombre de N-D	Nombre de stimuli cibles (feux rouges)	Pourcentage
<b>Conduite seule</b>	4	360	1.1%
<b>Ecoute radio</b>	9	359	2.5%
<b>Téléphone calcul mental</b>	26	356	7.3%
<b>Total</b>	39	1075	3.6%

Tableau XXIII : Nombre de Non Détections (N-D) par condition

Ces résultats indiquent que le taux de non-détections est multiplié par 6 lorsque l'on ajoute à la conduite une tâche de calcul mental par téléphone. Compte tenu des effectifs restreints de non-détections ces résultats n'ont pas une valeur statistique indubitable. Cependant, l'analyse effectuée (méthode de comparaison de pourcentages observés par écarts réduits) montre des différences significatives entre certaines conditions :

	N	e	Significativité
<b>Conduite seule vs Ecoute radio</b>	360	1.40	NS
<b>Conduite seule vs Téléphone calcul mental</b>	359	4.10	S ( $\alpha < 0.0001$ )
<b>Ecoute radio vs Téléphone calcul mental</b>	356	2.95	S ( $\alpha < 0.01$ )

Tableau XXIV : Comparaison de conditions (N = Nombre de stimuli cibles par condition)

Les fausses alarmes, comme nous l'avons souligné, n'ont pas la même signification. Elles ne s'accroissent significativement qu'en cas de calcul mental au téléphone ( $\alpha < 3\%$ ), passant de 7 à 13. Ceci témoigne d'une certaine incertitude des sujets qui, dans une situation réelle pourraient peut-être surprendre le conducteur qui suit leur propre véhicule.

#### 4.2.4. Variation du rythme cardiaque

Rappelons que le rythme cardiaque a été enregistré à 256 Hz et traité sur la totalité de la durée d'enregistrement. Ceci permet une excellente précision temporelle. Les traitements ont été effectués sur les fréquences et sur les périodes. Les résultats ne montrent pas d'incohérence entre ces deux paramètres. Aussi nous ne ferons état que des résultats obtenus sur les fréquences exprimées en battements par minute.

	Nombre de sujets	Fréquence moyenne	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	16	80.77	10.24
<b>Ecoute Radio</b>	16	80.91	9.49
<b>Téléphone Calcul Mental</b>	16	88.54	14.76

Tableau XXV : Variabilité de rythme cardiaque en fonction des situations

Nous nous attendions à une augmentation de la fréquence moyenne lors de l'ajout d'une tâche de calcul mental par téléphone. Celle-ci est effectivement observée et ne peut être attribuée qu'à l'augmentation de la charge mentale (l'effort physique étant limité et le même pour les trois situations).

Nous pensions obtenir une réduction de l'écart-type dans la même situation. Ceci n'est pas le cas et s'explique pour deux raisons. D'une part, la tâche de calcul mental n'est pas homogène

(il y a des pauses entre chaque opération), ce qui favorise une plus grande variation du rythme cardiaque. D'autre part, l'écart type n'est pas rigoureusement synonyme de la variabilité du rythme cardiaque. Il existe en effet plusieurs cycles de variation et il aurait fallu contrôler plus spécifiquement l'arythmie respiratoire. Ceci nécessitait l'utilisation d'un capteur qui enregistre les successions de cycles respiratoires ; ce capteur n'était pas opérationnel au laboratoire au moment de l'expérimentation. En ce qui concerne la fréquence cardiaque, le traitement statistique en séries appariées centrées réduites fait apparaître les résultats suivants :

	N	ddl	t	Significativité
<b>Conduite seule vs Ecoute radio</b>	16	15	0.16	NS
<b>Conduite seule vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	4.61	S (a < 0.001)
<b>Ecoute radio vs Téléphone calcul mental</b>	16	15	4.27	S (a < 0.001)

Tableau XXVI : Comparaison de conditions (Test de Student)

Conduire est déjà un travail même dans des conditions simplifiées du simulateur. Aussi, pour 4 sujets seulement, nous avons contrôlé la fréquence cardiaque au repos dans une situation de relaxation. En moyenne, nous avons trouvé une fréquence cardiaque inférieure de 3.5 battements/minute par rapport à la situation « conduite seule ». Nous n'avons pas tenté de réaliser une analyse statistique sur 4 sujets. Ceci devrait être examiné de façon plus précise dans l'expérimentation sur piste au cours de laquelle l'acquisition du rythme cardiaque en période de repos a été plus systématique.

#### 4.2.5. Corrélations diverses

##### a. Corrélacion entre amplitude de P3 et temps de réponse

Nous avons observé une corrélation inverse entre l'amplitude de P3 et les temps de réponse :

Résultat : N (nombre de données) = 48 ; ddl = 46 ; r = 0.57 ; significativité (a < 0.001)

L'équation de la droite de régression correspondante est la suivante (Figure 9) :

$$P3 \text{ en } \mu V = 30.25 - (0.03946 \text{ T.R. en ms})$$

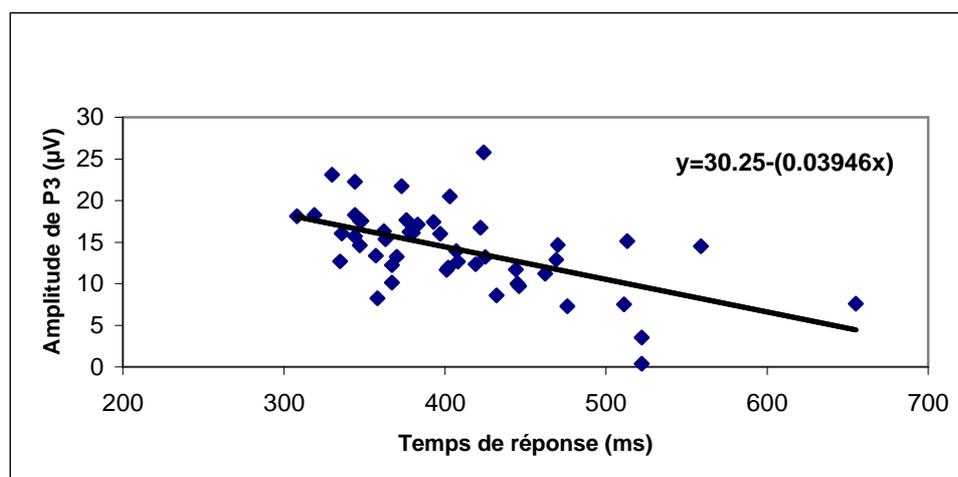


Figure 9 : Corrélacion entre amplitude du P3 et temps de réponse

***b. Corrélation entre P3-N2 et temps de réponse***

Résultat : N (nombre de données) = 48 ; ddl = 46 ; r = 0.615 ; significativité (a < 0.001)

L'équation de la droite de régression correspondante est la suivante (Figure 10):

$$\text{P3-N2 en } \mu\text{V} = 38.0868 - (0.05335 \text{ T.R. en ms})$$

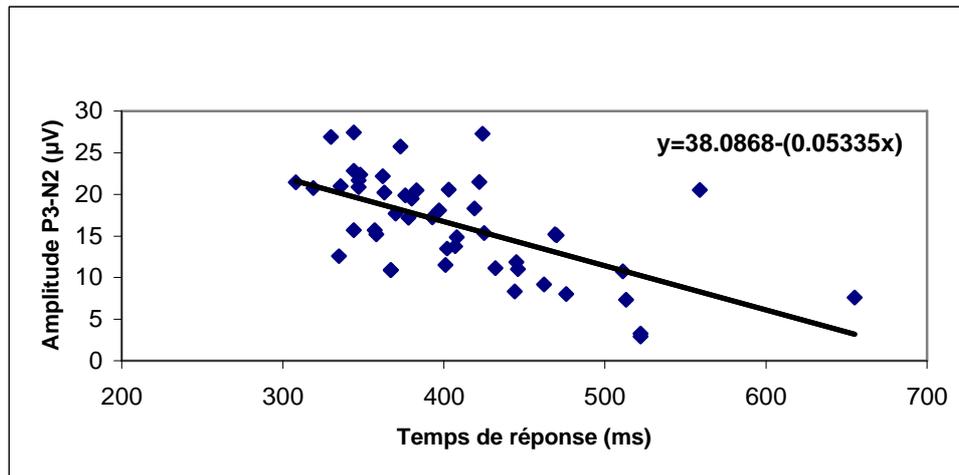


Figure 10 : Corrélation entre les Temps de Réponse et l'Amplitude de P3-N2

***c. Corrélation entre variabilité cardiaque et temps de réponse***

Les temps de réponses augmentant avec l'ajout d'une tâche supplémentaire et le rythme cardiaque s'accélérait dans les mêmes conditions par augmentation de la charge mentale globale, il était pertinent de rechercher une corrélation positive entre ces deux paramètres.

Résultat : N (nombre de données) = 48 ; ddl = 46 ; r = 0.48 ; significativité (a < 0.01)

L'équation de la droite de régression correspondante est la suivante (Figure 11):

$$\text{?FC en bat/min} = (0.0341 \text{ T.R. en ms}) - 13.9128$$

où ?FC exprime la variation centrée pour chaque sujet par rapport à la valeur moyenne qui lui est propre, pour l'ensemble des situations.

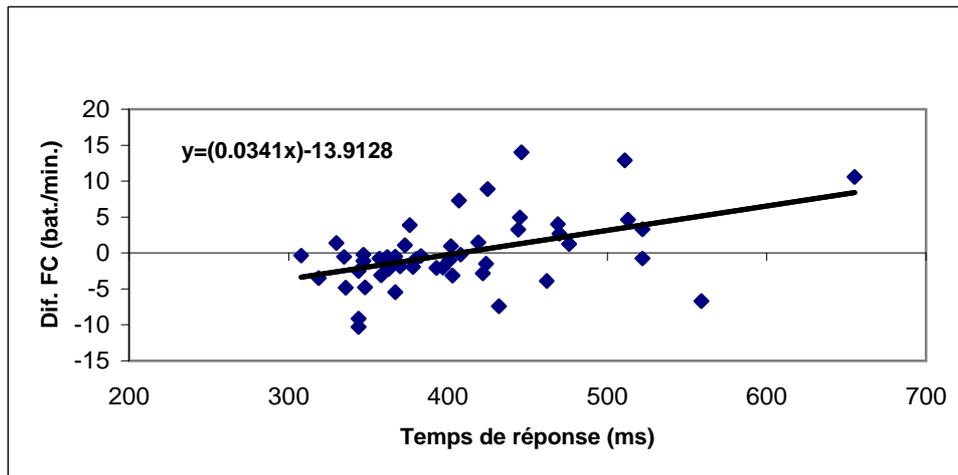


Figure 11 : Corrélation entre variabilité cardiaque et temps de réponse

#### d. Corrélation entre variabilité cardiaque et amplitude de P3-N2

Le traitement des informations liées à l'activité de conduite se réduisant lorsqu'on ajoute une tâche supplémentaire (ce que traduit la réduction de l'amplitude de P3-N2) et le rythme cardiaque s'accélérait dans cette condition, il était possible de rechercher une corrélation inverse entre ces deux paramètres.

Résultat : N (nombre de données) = 48 ;ddl = 46 ; r = 0.45 ; significativité (a < 0.01)

L'équation de la droite de régression correspondante est la suivante (Figure 12) :

$$? \text{ FC en bat /min} = 6.0506 - [0.371(\text{P3-N2 en } \mu\text{V})]$$

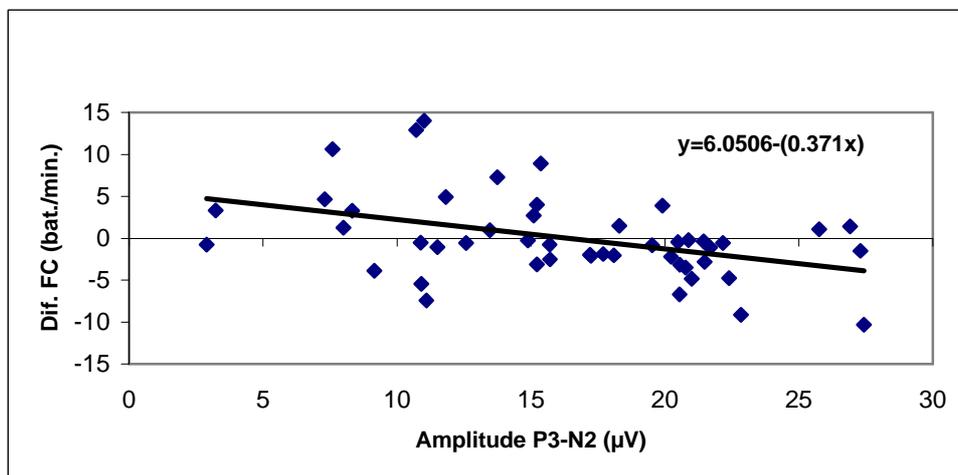


Figure 12 : Corrélation entre variabilité cardiaque et différence amplitude P3-N2

#### 4.2.6. Variabilité interindividuelle

Tout au long de ce rapport, nous avons souligné qu'il existait une variabilité interindividuelle relativement importante. Nous avons essayé d'en déterminer certaines des causes.

### ***a. Effet d'ordre***

L'effet d'ordre est le premier facteur qui vient à l'esprit dans toute expérimentation qui consiste à comparer des situations. En ce qui concerne les résultats moyens, nous nous étions préservés de cet effet en réalisant un plan tournant. Notons toutefois les résultats de certains sujets semblent s'être dégradés au fur et à mesure du déroulement de l'expérimentation, probablement du fait de la fatigue, ce qui a été confirmé par quelques uns d'entre eux. Pour d'autres il semble, à l'inverse s'être produit une amélioration qui pourrait être le résultat du développement d'une nouvelle stratégie de traitement plus efficace que la stratégie initiale.

### ***b. Effet d'âge***

L'âge des sujets ne semble pas avoir un effet marqué sur la variabilité des résultats. Il est vrai que les populations étudiées étaient relativement jeunes. La présence de conducteurs de plus de 65 ans aurait vraisemblablement permis de montrer des différences selon l'âge (mais ce n'était pas l'objet de cette recherche), sans cependant que l'on puisse clairement différencier effet d'âge et effet de génération.

### ***c. Effet de sexe***

Le sexe des sujets constitue un autre facteur de variation classiquement étudié. Nous avons trouvé dans notre échantillon quelques différences qui n'expriment que des tendances et dont les principales sont les suivantes :

- Toutes situations confondues, les femmes présentent un temps de réponse moyen plus élevé que celui des hommes de 26 ms (soit 6.6%).
- En ce qui concerne les Potentiels Evoqués, la variation de P3-N2 entre la situation de référence et le calcul mental au téléphone s'est avérée plus importante chez les femmes que chez les hommes (9.6  $\mu$ V contre 5.8  $\mu$ V).
- Le rythme cardiaque en moyenne plus élevé chez les femmes est de constatation courante mais on trouve aussi une plus grande variation du rythme cardiaque en fonction du stress lié à la situation. Ainsi, la différence entre les situations « calcul mental » et conduite seule est de 10.3 bat./minute chez les femmes et seulement 5.0 bat./minute chez les hommes.
- Les femmes se sont avérées moins performantes que les hommes dans la tâche de calcul mental (37% d'erreurs au lieu de 23%).

### ***d. Exemple de typologie des sujets pour la tâche de calcul mental***

La motivation pour chacune des tâches à réaliser devrait aussi constituer un facteur de variation. Celui-ci peut être un élément de différenciation entre l'attrait des différentes tâches secondaires. La motivation peut en outre se traduire dans l'attention respectivement portée à la tâche de conduite et à la tâche de calcul mental. Les performances réalisées à ces deux tâches sont tout à fait chiffrables et permettent de différencier les sujets. Pour cela, ces derniers ont été positionnés selon deux axes ; l'un représentant le pourcentage d'erreurs à la tâche de calcul, l'autre l'augmentation des non détections lors de cette même tâche par rapport à la moyenne des situations simples : conduite seule et écoute radio (Figure 13). Par rapport à la valeur moyenne de chaque tâche les sujets se répartissent en quatre groupes :

- 4 sujets ont réalisé de bonnes performances aux deux tâches. Ce sont vraisemblablement des sujets capables d'effectuer un bon partage de temps entre les deux tâches et dont les capacités n'ont pas été saturées ;
- 3 sujets ont effectué un nombre d'erreurs supérieur à la moyenne pour les deux tâches. Ils ont eu vraisemblablement des difficultés à réaliser simultanément les deux tâches et une surcharge mentale qui devrait se répercuter sur leur fréquence cardiaque. On constate, en effet, une augmentation de la fréquence cardiaque, en situation de calcul mental, légèrement supérieure à la moyenne (8 bat./minute au lieu de 6.7 bat./minute). Notons que deux d'entre eux sont les plus âgés du groupe. Peut-être que plus qu'un effet d'âge, ce pourrait être un effet de génération ;
- 5 sujets semblent avoir privilégié la tâche de calcul par rapport à la tâche de détection des stimuli (nombre moyen de non-détections supplémentaires ; 2.5) ;
- 4 sujets ont privilégié la tâche de conduite (nombre moyen de non-détections supplémentaires ; 0.5) au détriment de la réalisation de la tâche de calcul.

Au total, on constate que pour 75% des sujets (12/16) il s'avère difficile de réaliser de bonnes performances aux deux tâches présentées simultanément. Ceci n'est qu'un exemple, les effectifs sont trop faibles pour présenter une valeur statistique. Ce type de démarche a cependant une valeur explicative. Notons, par ailleurs, que si l'on excluait deux sujets du premier groupe (qui ont fait preuve de beaucoup de facilité) on obtiendrait une corrélation inverse entre le taux d'erreurs au calcul mental et la variation du paramètre P3-N2 des Potentiels Evoqués, soulignant ainsi que ce paramètre traduit bien l'importance des ressources transférées à la tâche ajoutée.

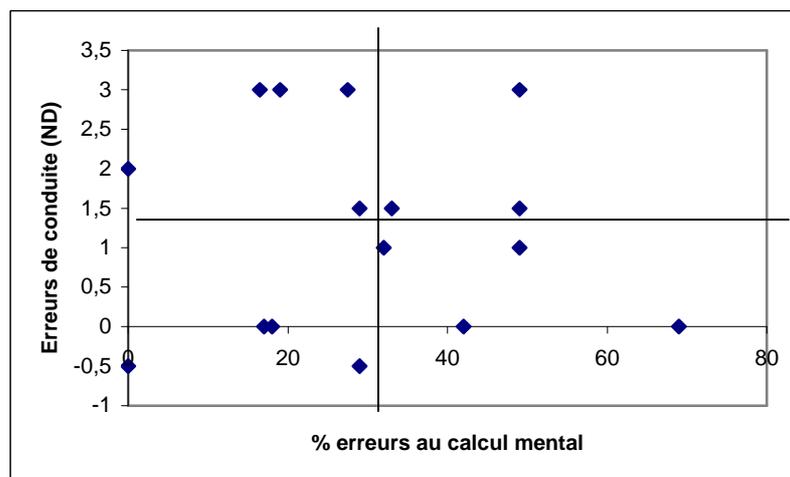


Figure 13 : Répartition de l'ensemble des sujets selon les performances respectives à la tâche de conduite et à la tâche de calcul mental (ND = non détections)

### 4.3. Synthèse des expérimentations sur SIMULATEUR

Il n'était intéressant d'effectuer deux expériences sur simulateur dans des situations différentes de situations ajoutées que si l'on pouvait les comparer. Pour cela, nous disposions d'une situation de référence commune qui était la situation « conduite seule ». Les données des différents paramètres pour cette situation se sont avérées relativement stables d'une année sur l'autre en ce qui concerne les moyennes, même si la population des sujets était différente.

Nous avons analysé successivement l'amplitude de P3-N2 comme paramètre représentatif du traitement du signal, les temps de réponse et le taux de non-détections en tant que paramètres de performance et la variation de la fréquence cardiaque pour traduire les modifications de charge mentale. Dans cette situation conduite seule, les comparaisons entre les expérimentations de 2002 et de 2003 ont donné les résultats suivants :

- P3-N2, 18.71  $\mu\text{V}$  en 2002 et 19.22  $\mu\text{V}$  en 2003. La différence étant faible (0.51  $\mu\text{V}$ ) nous avons décidé de prendre comme référence unique les valeurs de 2002 et avons réduit les valeurs de 2003 de 0.51  $\mu\text{V}$ .
- Temps de Réponse, 379 ms en 2002 et 375 ms en 2003. La encore, la différence infime de 4 ms est du même ordre que l'erreur de mesure. Nous avons décidé de prendre comme référence 375 ms et corrigé les valeurs de 2002 de 4 ms.
- Taux de non détections, 1.8% en 2002 et 1.14% pour 2003. Nous avons décidé de considérer les deux expérimentations comme une seule et avons calculé une référence moyenne prenant en compte le taux de non-détections cumulé sur les deux années rapporté aux effectifs respectifs. La valeur trouvée à 1.43%.
- En ce qui concerne la fréquence cardiaque, compte tenu de la grande variabilité du rythme cardiaque, ce n'était pas sa valeur absolue en moyenne qui nous intéressait (77.37 bat./minute en 2002 et 80.77 bat./minute en 2003) mais ses variations relatives. Nous avons donc conservé deux références et exprimé les résultats par rapport à l'une d'entre elles selon la situation considérée avait été étudiée en 2002 ou en 2003.

A partir de cela, il était possible de regrouper les données de 2002 et de 2003 et de comparer l'ensemble des situations. Les figures 14, 15, 16 et 17 indiquent les valeurs des quatre variables pour les différentes situations.

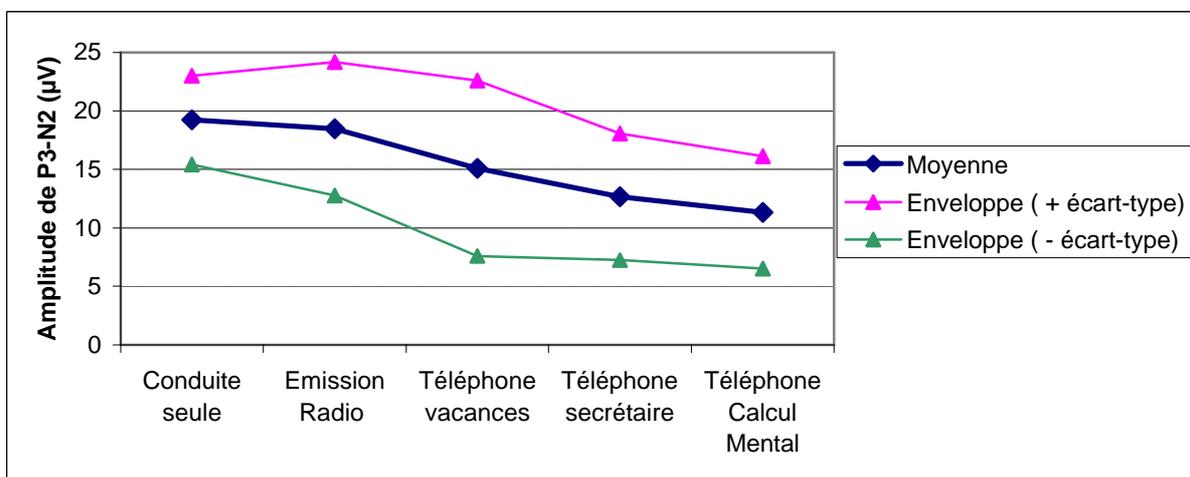


Figure 14 : Evolution de l'amplitude P3-N2 ( $\mu\text{V}$ ) au cours des situations expérimentales

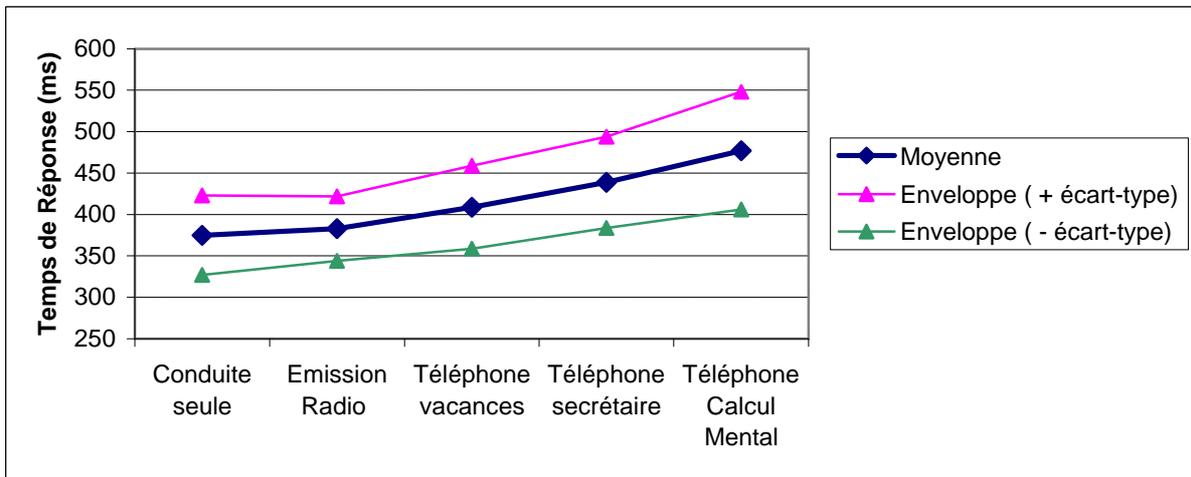


Figure 15 : Evolution du Temps de Réponse (ms) au cours des situations expérimentales

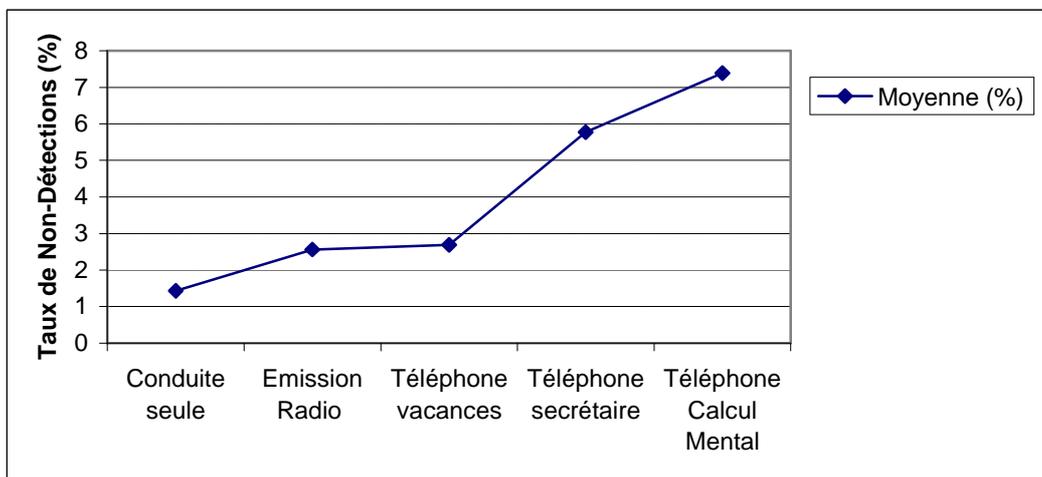


Figure 16 : Evolution du taux de Non- Détections (%) au cours des situations expérimentales

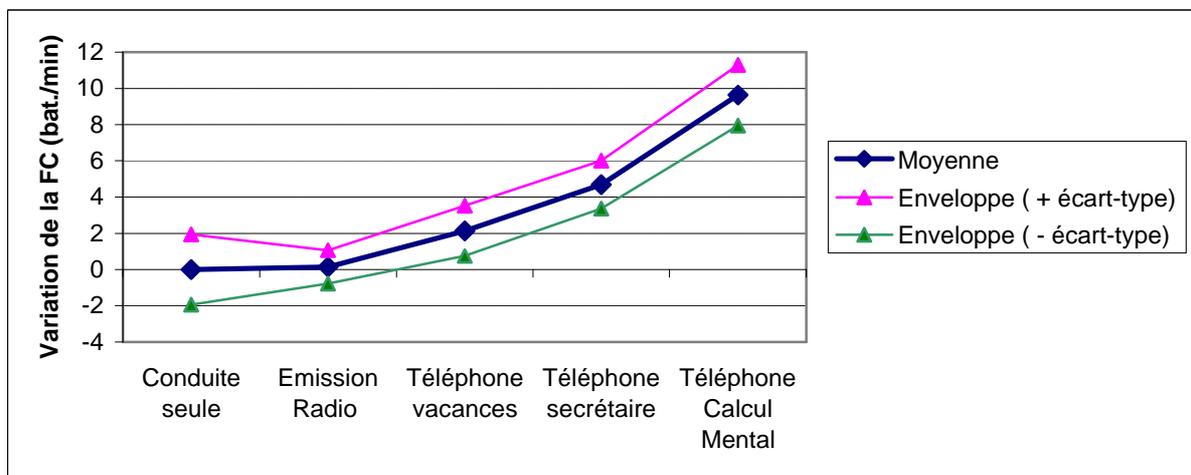


Figure 17 : Evolution de la variation de la Fréquence Cardiaque (bat./min) au cours des différentes situations expérimentales en référence à la situation conduite seule.

On s'aperçoit qu'il existe une grande concordance entre les différents paramètres : d'une part, quel que soit le paramètre considéré, les situations sont toujours classées dans le même ordre, d'autre part, l'évolution de la valeur des paramètres d'une situation à l'autre n'est pas notablement différente selon le paramètre considéré. On pouvait s'y attendre compte tenu des corrélations qui ont été obtenues. Il existe cependant quelques différences dans la pente de variation selon le paramètre considéré. Ceci aussi était attendu et est lié au fait que chaque paramètre n'exprime pas exactement les mêmes phénomènes. La différence est surtout sensible en ce qui concerne la variabilité du rythme cardiaque. En effet celle-ci n'exprime pas seulement le niveau d'attention impliqué dans la réalisation de deux tâches simultanées mais aussi le stress lié à une conscience de la difficulté réelle ou imaginée de la situation. Ainsi la fréquence cardiaque varie moins que les autres paramètres pour les tâches jugées les plus faciles et augmente plutôt davantage pour les tâches de résolution de problèmes dans lesquelles le sujet doit réaliser une performance. On peut ainsi différencier les perturbations de l'attention dont le sujet n'a pas conscience de celles dont il est conscient et qui le stressent. En matière d'insécurité routière, le danger peut émaner de deux mécanismes :

- Pour les tâches ajoutées les plus difficiles, une surcharge consciente et considérée comme stressante peut saturer ses capacités de traitement au détriment de la conduite.
- Pour les tâches ajoutées les plus faciles, une surcharge beaucoup plus réduite mais inconsciente (risque perçu inférieur au risque réel) est capable de mobiliser quelques ressources et de produire un effet de distraction que le sujet n'anticipera pas.

Pour tenir compte des divers mécanismes mis en jeu, il paraît séduisant de réaliser une fusion entre les différents paramètres afin de constituer un indice global de perturbation du conducteur. Dans cet objectif, il n'y a pas de raison particulière de donner un poids relatif différent à chacun des paramètres. En vue de leur donner une échelle commune nous avons calculé le taux de variation moyen (TVM) de chaque paramètre par rapport à la situation de référence :

$$TVM = \frac{\sum (V_n)}{n}$$

où  $V_n$  est le taux de variation de chaque situation et  $n$  le nombre de situations.

Nous avons calculé un coefficient multiplicateur pour chaque paramètre afin que le TVM soit identique pour tous. Nous avons arbitrairement choisi de transformer les valeurs de trois autres paramètres en la dimension de TVM de l'amplitude de P3-N2. Le coefficient multiplicateur de chaque paramètre est appliqué aux valeurs de chaque situation. On peut alors calculer un indice global (tenant compte de l'ensemble des paramètres) pour chaque situation.

$$IG_n = \frac{\sum TVS_n [-(P3 - N2) + TR + ND + \Delta FC]}{4}$$

où :

- $IG_n$  est l'indice global pour la situation  $n$
- $TVS_n$  est le taux de variation spécifique de la situation  $n$  par rapport à la situation de référence pour chaque paramètre listé dans l'équation

- *P3-N2*, variation de l'amplitude P3-N2
- *TR*, variation du Temps de Réponse
- *ND*, variation du taux des Non- Détections
- *?FC*, variation de la fréquence cardiaque

Les résultats que nous obtenus sont présentés dans le Tableau XXVII. La variation de l'indice global pour chaque situation est illustrée par la figure 18.

Situations		P3-N2	TR	ND	?FC	IGn
<b>Conduite seule</b>	Valeurs brutes	18.71 $\mu$ V	375 ms	1,43 %	0	<b>0</b>
<b>Ecoute Radio</b>	Valeurs brutes	17,96 $\mu$ V	383 ms	2,56 %	0,14 %	<b>4,37</b>
	% variation	- 4 %	2,13%	79,2 %	0,17 %	
	Contribution à l'indice	- 4,00	3,76	8,72	1,00	
<b>Téléphone vacances</b>	Valeurs brutes	15,09 $\mu$ V	409 ms	2,69 %	1,65 %	<b>14,42</b>
	% variation	- 19,35 %	9,07 %	88,11 %	2,13 %	
	Contribution à l'indice	- 19,35	16,02	9,73	12,57	
<b>Téléphone secrétaire</b>	Valeurs brutes	12,65 $\mu$ V	439 ms	5,77 %	3,62 %	<b>30,91</b>
	% variation	- 32,39 %	17,07 %	303,50 %	4,68 %	
	Contribution à l'indice	- 32,39	30,15	33,5	27,61	
<b>Téléphone Calcul Mental</b>	Valeurs brutes	10,81 $\mu$ V	477 ms	7,39 %	7,77 %	<b>48,25</b>
	% variation	- 42,22 %	27,2 %	416,78 %	9,62%	
	Contribution à l'indice	- 42,22	48,03	46,00	56,76	

Tableau XXVII. Synthèse des résultats, ébauche d'indice global

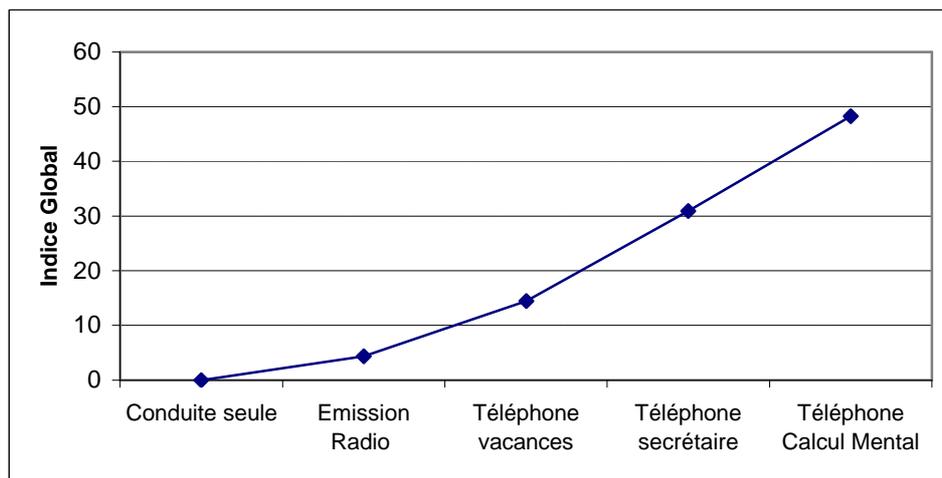


Figure 18 : Indice global de perturbation du conducteur (expériences sur simulateur)

Si l'on s'intéresse à un aspect particulier de la perturbation (attention portée à la tâche, performances ou charge mentale liée à la situation) on peut aussi utiliser indépendamment des indices partiels correspondant à chacun des paramètres étudiés (cf. Figure 19).

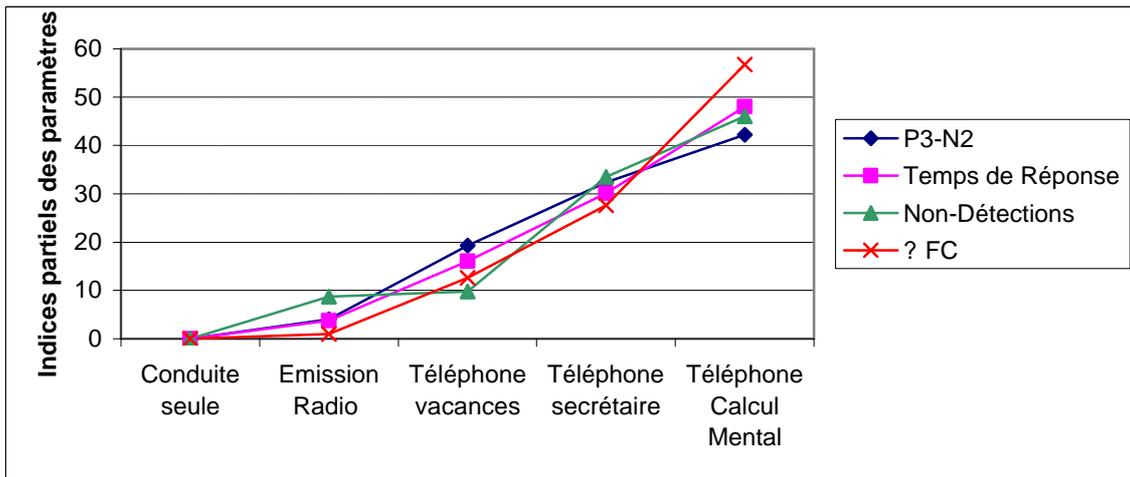


Figure 19 : Indices partiels des paramètres pour différentes situations expérimentales

Notons aussi que cet indice global, de même que les indices partiels, a été obtenu dans des configurations spécifiques : expérimentation sur simulateur, paradigme oddball simple concernant la tâche principale. Son utilisation dans un autre contexte devrait donner lieu à une recalibration par comparaison entre une situation de référence (conduite seule) et au moins une tâche commune avec cette recherche. La tâche de calcul mental par téléphone semble appropriée car elle est abstraite et culturellement à peu près neutre ; elle offre par ailleurs une plage de variation par rapport à la tâche de référence suffisamment importante pour donner des résultats qui lui sont significativement différents pour l'ensemble des paramètres.

Ce travail ne constitue qu'une première approche. Il faudrait valider la démarche et probablement amener des améliorations notamment au niveau du traitement de la fréquence cardiaque ; prendre en compte le rythme respiratoire pour déterminer l'arythmie sinusale et effectuer un traitement spectral de la variabilité cardiaque.

## 4.4. Résultats PISTE D'ESSAI

### 4.4.1. Temps de réponse

Comme précédemment, nous vérifierons ici l'hypothèse selon laquelle les temps de réaction des sujets vont augmenter en présence d'une tâche ajoutée et que cette augmentation sera fonction de la demande attentionnelle de la tâche considérée.

Deux types de temps de réponse ont été enregistrés :

- Temps de lever le pied de l'accélérateur consécutifs à l'allumage de diodes oranges
- Temps de freinage consécutifs à l'allumage de diodes rouges

Les moyennes de temps de réponse qui suivent ont été calculées en enlevant les non-détections (absence de réponse du sujet suite à l'allumage d'une diode) et les réponses obtenues lorsque les sujets n'avaient pas respecté la consigne par erreur (freinage consécutif à l'allumage des diodes oranges ou simple levé le pied consécutif aux diodes rouges).

Six situations sont considérées : une séquence de conduite sans tâche ajoutée systématiquement réalisée au début de l'expérimentation, une séquence de conduite sans tâche ajoutée systématiquement réalisée à la fin de l'expérimentation et les différentes tâches ajoutées : écoute radio, discussion avec le passager et conversation téléphonique qui se sont enchaînées selon un plan tournant afin de limiter l'effet d'ordre.

Tâche	Moyenne	Ecart-type	N
<b>Conduite début</b>	342	101	43
<b>Conduite fin</b>	356	107	49
<b>Ecoute radio</b>	347	109	42
<b>Discussion passager</b>	408	141	41
<b>Tel calcul</b>	409	124	43
<b>Tel conversation</b>	465	131	43
<b>Total</b>	387	126	261

Tableau XXVIII : Temps de réponse consécutif à allumage des **diodes oranges** (lever le pied)

Les différences obtenues entre les six tâches différentes sont statistiquement significatives (Anova :  $F = 7.069$  ;  $ddl = 5$  ;  $p < 0.001$ ).

Tâche	Moyenne	Ecart-type	N
<b>Conduite début</b>	595	126	51
<b>Conduite fin</b>	633	153	49
<b>Ecoute radio</b>	591	149	49
<b>Discussion passager</b>	655	132	47
<b>Tel calcul</b>	652	142	47
<b>Tel conversation</b>	680	141	49
<b>Total</b>	634	143	292

Tableau XXIX : Temps de réponse consécutifs à l'allumage des **diodes rouges** (freiner)

Les différences obtenues entre les six tâches sont statistiquement significatives (Anova :  $F = 3.087$  ;  $ddl = 5$  ;  $p=0.010$ )

Dans tous les cas, il est observé une légère augmentation du temps de réponse entre les deux phases de conduite sans tâche ajoutée. Cette augmentation semble due à un effet de fatigue lié à la durée relativement longue de l'expérimentation, cette phase de conduite avec freinage intervenant systématiquement à la fin. L'effet de fatigue devrait être limité en ce qui concerne la conduite avec les tâches ajoutées, dans la mesure où celles-ci ont été effectuées dans un ordre différent selon les sujets.

En ce qui concerne les différentes tâches ajoutées :

- L'écoute radio n'affecte pas les temps de réponse. Les temps de réponse tendent même parfois à être inférieurs à ceux enregistrés en conduite seule.
- La discussion avec passager et le calcul par téléphone induisent des temps relativement similaires.
- La conversation téléphonique induit les temps les plus longs.

Plus précisément, les variations des temps de réponse moyens obtenus pour les différentes tâches ont été comparés aux temps obtenus en situation de conduite seule (temps moyens pour les phases de conduite de début et de fin = 350 ms).

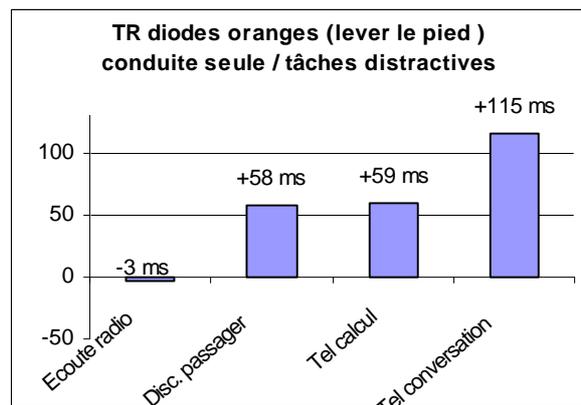


Figure 20 : Variations des temps de réponse entre conduite seule et conduite avec tâche ajoutée

En ce qui concerne les temps de réponse consécutifs à l'allumage des **diodes oranges** (lever le pied de la pédale d'accélérateur), on observe une augmentation statistiquement significative des temps de réponse entre :

- Conduite seule et discussion passager : + 17%  
(Anova ;  $F = 7.204$  ;  $ddl = 1$  ;  $p = 0.008$ )
- Conduite seule et calcul mental au téléphone : + 17%  
(Anova ;  $F = 8.411$  ;  $ddl = 1$  ;  $p = 0.004$ )
- Conduite seule et conversation téléphonique : + 33%  
(Anova ;  $F = 30.516$  ;  $ddl = 1$  ;  $p < 0.001$ )

La diminution des temps de réponse entre conduite seule et écoute radio de 1% n'est pas statistiquement significative.

Les variations des temps de réponse moyens obtenus pour les différentes tâches ont été également comparés aux temps obtenus en situation de conduite seule (temps moyens pour les phases de conduite de début et de fin = 614 ms).

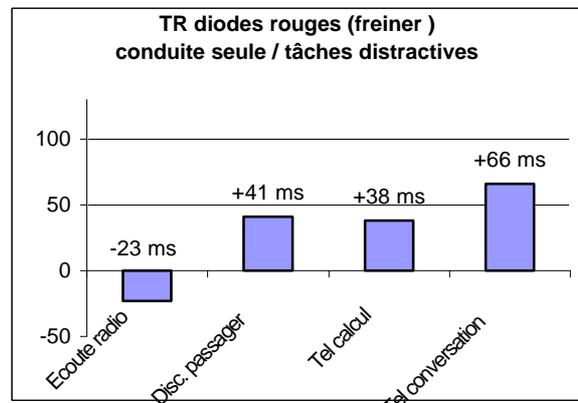


Figure 21 : Variations des temps de réponse entre conduite seule et conduite avec tâche ajoutée

En ce qui concerne les temps de freinage consécutifs à l'allumage des **diodes rouges**, on observe une augmentation significative des temps de réponse entre conduite seule et discussion au téléphone (Anova ;  $F = 7.152$  ;  $ddl = 1$  ;  $p = 0.008$ ) et une tendance à l'augmentation des temps de réponse entre conduite seule et calcul mental au téléphone et conduite seule et discussion avec le passager. Les variations obtenues sont les suivantes :

- Conduite seule et discussion passager : + **7%**
- Conduite seule et calcul mental au téléphone : + **6%**
- Conduite seule et conversation téléphonique : + **11%**

La diminution des temps de réponse entre conduite seule et écoute radio de **4%** n'est pas statistiquement significative.

Les variations absolues (entre les deux types de temps de réponse) selon les situations ne sont pas notablement différentes ; ce qui se comprend aisément puisque pour le freinage, on ne fait que rajouter une constante qui est le temps de déplacement du pied d'une pédale à l'autre. Par contre, en valeur relative, les taux de variations pour le freinage sont deux fois moindre, puisque la valeur de référence est presque du double.

Les différentes tâches ont ensuite été regroupées en deux groupes : les **tâches simples** (conduite seule de début et de fin d'expérimentation et écoute radio) induisant des temps de réponse les plus faibles et les **tâches complexes** (discussion avec le passager, conversation téléphonique et calcul au téléphone) induisant les temps de réponse les plus longs.

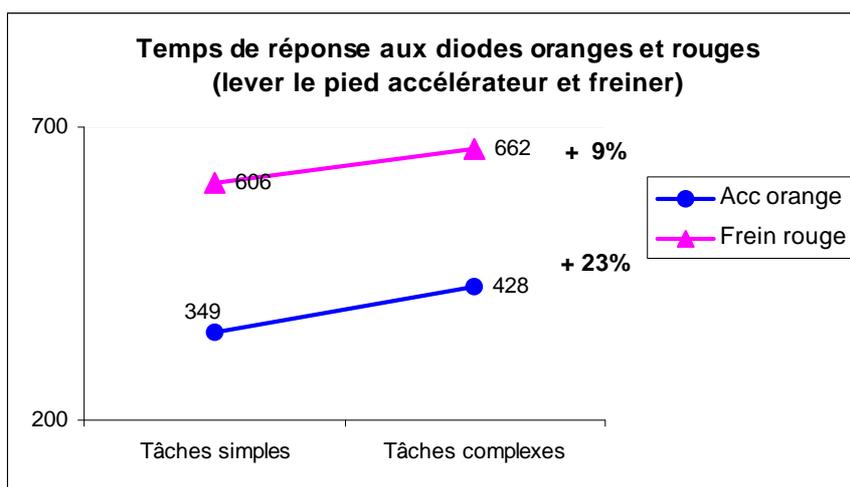


Figure 22 : Comparaison des TR entre tâches simples et tâches complexes

Les différences de temps de réaction obtenues entre tâches simples et tâches complexes sont statistiquement significatives :

- Lever le pied consécutif à l'allumage des diodes oranges (Anova :  $F = 28.289$  ;  $ddl = 1$  ;  $p < 0.001$ ). L'augmentation du temps de réponse enregistrée entre les deux types de tâches est de **23%**.
- Freiner suite à l'allumage des diodes rouges (Anova :  $F = 11.571$  ;  $ddl = 1$  ;  $p = 0.001$ ). L'augmentation du temps de réponse enregistrée entre les deux est de **9%**.

#### 4.4.2. Analyse des erreurs de détection

La répartition des erreurs a été calculée en fonction des différentes tâches ajoutées. Trois types d'erreurs ont été relevés : les non détections (absence de réponse du sujet après allumage des diodes rouges ou oranges), les confusions de signaux rouges pour oranges (les sujets ont levé le pied puis freiné suite à l'allumage des diodes oranges) et les erreurs de signaux oranges pour rouges (les sujets n'ont pas freiné ou ont freiné sans aller jusqu'à l'arrêt du véhicule suite à l'allumage des diodes rouges).

	ERREURS				Réponses justes		Total	
	N.D.	R pour O	O pour R	%	Nombre	%	Nombre	%
<b>Conduite début</b>	0	9	1	9,6	94	90,4	104	100,0
<b>Conduite fin</b>	0	3	3	5,8	98	94,2	104	100,0
<b>Ecoute radio</b>	1	9	2	11,7	91	88,3	103	100,0
<b>Disc passager</b>	2	9	4	14,6	88	85,4	103	100,0
<b>Tel calcul</b>	1	9	3	12,6	90	87,4	103	100,0
<b>Tel conversation</b>	2	7	2	10,7	92	89,3	103	100,0
<b>Total</b>	6	46	15	10,8	553	89,2	620	100,0

Tableau XXX : Répartition des erreurs en fonction des différentes tâches ajoutées

Les non détection sont très peu nombreuses (6 sur les 620 signaux envoyés). Elles ont été principalement rencontrées en situation de tâche complexe (5/6).

Notons que la plupart des 46 confusions de signaux rouges pour oranges (43/46) n'ont engendré qu'un petit appui sur frein sans aller jusqu'à l'arrêt complet du véhicule. Dans le cas de ces erreurs, il s'agit davantage d'un réflexe de freinage avorté que d'une réelle erreur de discrimination, puisque les sujets ont corrigé le tir en ne s'arrêtant pas comme cela était demandé pour un signal rouge. Seules trois d'entre elles correspondent à une réelle erreur de discrimination (freinage avec arrêt complet) et peuvent être considérées comme des fausses alarmes, le conducteur ayant fait le choix de la réponse la plus forte.

A l'inverse, les confusions de signaux oranges pour rouges correspondent bien à des erreurs de discrimination et, dans la mesure où le conducteur fait le choix de donner une réponse moins forte sont comparables à des non détections.

Plus globalement, le nombre des non détections tend à augmenter lorsque les tâches sont plus complexes. Bien que les effectifs soient très faibles et n'aient, de fait, pas de valeur statistique, on observe une augmentation de plus de 400% des non détections pures et de près de 50% des erreurs de détections où le conducteur donne une réponse insuffisante par rapport à la consigne (levé le pied pour un freinage d'urgence).

	Non détection	O pour R
<b>Tâches simples</b>	1 0,3%	6 3.9%
<b>Tâches complexes</b>	5 1.6%	9 5.8%
<b>Total</b>	6/620 1,0%	15/310 4,8%

Tableau XXXI : Fréquences et pourcentages des non détections selon le type de tâches

#### **4.4.3. Variations du rythme cardiaque**

Il s'agissait de vérifier l'hypothèse selon laquelle la fréquence moyenne des battements cardiaques allait augmenter lors de la réalisation de tâches ajoutées à la conduite et que cette augmentation pourrait varier en fonction de la charge mentale liée à chacune d'elle. Les fréquences cardiaques ont donc été enregistrées, dans un premier temps, au repos dans le véhicule, puis pendant que les sujets effectuaient les différentes tâches à l'arrêt et, dans un deuxième temps, lors de la deuxième phase de conduite (sans consigne de freinage) en conduite seule puis en conduite avec tâches ajoutées.

Tout d'abord, nous avons calculé la variation du rythme cardiaque lors de la réalisation des différentes tâches à l'arrêt et en conduite. On observe une augmentation du rythme cardiaque significative à la probabilité de 5%, lors de la réalisation des tâches ajoutée en conduisant par rapport à leur réalisation à l'arrêt (test sur les échantillons appariés ;  $t = -2.066$  ;  $ddl = 39$  ;  $p = 0.46$ ). Cette augmentation est induite par l'augmentation de la charge mentale générée par la situation double tâche (tâche de conduite + tâche ajoutée).

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Tâches ajoutées au repos</b>	81.56	40	15.73
<b>Tâches ajoutées en conduite</b>	82.73	40	14.29

Tableau XXXII : Variation du rythme cardiaque pendant les tâches ajoutées repos / conduite

On observe également une augmentation très significative du rythme cardiaque entre situation de repos dans le véhicule et situation de conduite seule, sans tâche ajoutée (test sur les échantillons appariés ;  $t = 5.280$  ;  $ddl = 9$  ;  $p = 0.001$ ).

	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Repos</b>	75,99	10	16,59
<b>Conduite seule</b>	81,27	10	16,90

Tableau XXXIII : Variation du rythme cardiaque au repos / en conduite seule

Lorsque l'on compare les différentes situations de conduite, c'est la tâche de calcul qui semble augmenter le plus la charge mentale du conducteur. C'est également la tâche qui a été vécue comme la plus stressante par les sujets (voir évaluation subjective). La différence entre les fréquences cardiaques obtenues en conduite seule et en conduite avec calcul mental au téléphone est significative (test sur les échantillons appariés ;  $t = -2.840$  ;  $ddl = 9$  ;  $p = 0.019$ ) ainsi qu'entre écoute radio et calcul au téléphone (test sur les échantillons appariés ;  $t = -2.993$  ;  $ddl = 9$  ;  $p = 0.015$ ).

Les autres tâches tendent également à augmenter le rythme cardiaque, mais les différences enregistrées ne sont pas significatives à la probabilité de 5%, sans doute en raison du faible nombre de sujets.

Situations	Moyenne	N	Ecart-type
<b>Conduite seule</b>	81,27	10	16,90
<b>Ecoute radio</b>	80,05	10	14,63
<b>Discussion passager</b>	83,27	10	13,46
<b>Tel calcul</b>	84,83	10	16,67
<b>Tel conversation</b>	82,79	10	14,07
<b>Total</b>	81,48	105	15,19

Tableau XXXIV : Variation du rythme cardiaque selon les différentes situations de conduite

#### 4.4.4. Contrôle de l'exécution des tâches ajoutées

##### a. Performances au calcul par téléphone

Nous avons voulu vérifier ici, l'hypothèse suivante : les conducteurs mettront plus de temps et feront plus d'erreurs pour effectuer un calcul, s'ils sont en train de conduire que s'ils sont à l'arrêt. Pour évaluer cette dégradation de la tâche téléphonique en conduite, nous nous sommes basés sur les résultats obtenus aux tests de calcul mental à deux moments distincts : pendant la phase de repos et pendant la phase 2 de conduite. Nous avons pris en compte deux minutes de chacune de ces séquences (à l'arrêt et en conduite phase 2) et compté le nombre d'opérations effectuées par chaque sujet dans ce laps de temps, ainsi que le nombre d'erreurs enregistrées dans chaque situation.

Parmi les 26 sujets qui ont participé à cette expérimentation, un incident technique (absence de la totalité de l'enregistrement téléphonique) ne nous a permis d'en traiter que 25.

Les résultats obtenus ont montré que notre hypothèse était confirmée. Une grande majorité des sujets ont effectué un nombre de calculs inférieurs en conduisant (21/25) ; deux sujets ont eu un score légèrement meilleur en conduite et deux sujets ont obtenu le même score aux deux situations. Nous n'avons toutefois pas pu établir de lien entre ce résultat et l'habitude qu'ils avaient de téléphoner en conduisant, ces quatre sujets se répartissant dans les 3 groupes que nous avons établis.

Les sujets ont donc effectué en moyenne un nombre de calculs significativement inférieur lorsqu'ils conduisaient (test sur les échantillons appariés :  $t = 4.245$  ;  $ddl = 24$  ; significativité  $< 0.001$ ). Nous observons, en outre, une tendance à ce que le nombre d'erreurs enregistrées soit plus important en conduite. Ici sont considérées comme erreurs les réponses erronées données par les sujets à une opération et, également, les absences de réponses lorsque ceux-ci étaient dans l'incapacité d'effectuer le calcul (37 erreurs et 4 non-réponses – 41 calculs non justes - ont été enregistrées pour l'ensemble des sujets en situation de repos contre 44 erreurs et 8 non-réponses – 52 calculs non justes - en situation de conduite).

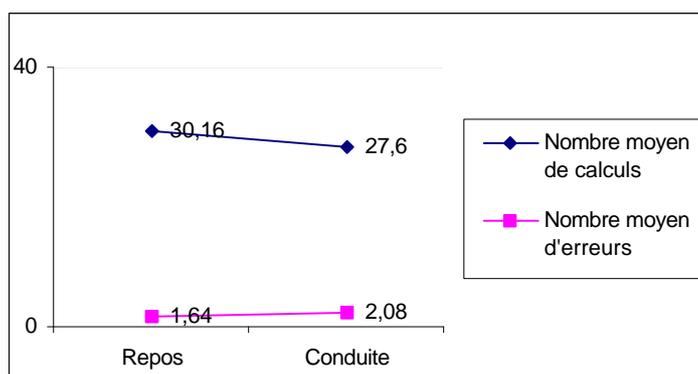


Figure 23 : Nombres de calculs moyens effectués par les sujets au téléphone

### ***b. Evaluation subjective des conversations avec passager et téléphonique***

Au cours de l'entretien, les sujets ont été amenés à se prononcer sur la qualité des discussions qu'ils avaient pu avoir avec le passager et au téléphone. Nous avons ici différencié les deux phases de conduite de l'expérimentation (conduite simple en phase 2 et conduite avec consigne de freinage en phase 3). En effet, l'activité de conduite était complexifiée en phase 3 par la surveillance des diodes engendrant un freinage de la part des sujets. Il leur a été demandé de préciser s'ils auraient donné plus de détails dans leurs réponses lors de cette discussion s'ils n'avaient pas été en train de conduire. Les trames des prétextes à conversation étaient de teneur comparable (les mêmes prétextes ont été utilisés dans toutes les situations selon un plan tournant).

Aurait plus détaillé à l'arrêt	Conversation téléphonique		Discussion avec passager	
	Phase 2	Phase 3	Phase 2	Phase 3
<b>Oui</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	11	<b>17</b>
<b>Non</b>	12	7	<b>15</b>	9
<b>Total</b>	26	26	26	26

Tableau XXXV : « Auriez-vous plus détaillé votre conversation si vous n'aviez pas été en train de conduire ? »

Les résultats montrent que les sujets ont estimé plus souvent qu'ils auraient détaillé davantage ces conversations à l'arrêt lorsqu'il s'agissait de la conversation au téléphone, que lorsqu'il s'agissait de celle avec passager. Plusieurs d'entre eux ont signalé spontanément que leur vécu était différent dans les deux cas et surtout qu'il est plus facile de différer sa réponse avec un passager qu'avec un interlocuteur au téléphone qui ne peut interpréter les silences.

La complexité de l'activité de conduite semble également avoir un impact. Lorsque la situation est peu demandeuse d'attention, un nombre plus important de conducteurs se sent plus à même de réaliser dans de bonnes conditions une tâche ajoutée que lorsque la demande attentionnelle augmente.

### *c. Evaluation subjective de l'impact des différentes tâches ajoutées*

L'entretien nous a permis également de préciser le niveau de gêne de chacune des tâches ajoutées, évalué subjectivement par les sujets. Pour cela, il leur a été demandé s'il était très facile, facile, difficile ou très difficile de détourner son attention de l'une de ces activités vers la route lorsque cela était nécessaire. Il leur a été également demandé de classer les quatre tâches de la moins gênante (position 1) à la plus gênante (position 4) en conduite. Les manipulations liées à ces tâches (numérotation, prise d'appel, changement de station de radio...) n'étaient pas prise en compte dans ce classement.

	<b>Ecoute radio</b>	<b>Discussion avec passager</b>	<b>Conversation téléphonique</b>	<b>Calcul par téléphone</b>
<b>Position 1</b>	<b>19</b>	7		
<b>Position 2</b>	5	<b>15</b>	6	
<b>Position 3</b>	2	4	<b>19</b>	1
<b>Position 4</b>			1	<b>25</b>
<b>Total</b>	26	26*	26*	26

Tableau XXXVI : Classement des tâches ajoutées en fonction du niveau de gêne pour la conduite

\* Deux sujets n'ont pu départager discussion avec passager et conversation téléphonique et ont accordé un rang intermédiaire (position 2 et 3) aux deux situations. L'un d'eux a été affecté en position 2 et l'autre en position 3 pour chacune des deux tâches.

Des **scores de distraction subjective** ont été calculés pour chaque tâche en multipliant les effectifs de chaque classe par sa valeur (1 pour la position 1, 2 pour la position 2...). Chaque tâche a ainsi obtenu les scores de distraction subjective suivants :

- Ecoute radio (=  $19*1 + 5*2 + 2*3$ ) **35**
- Discussion passager (=  $7*1 + 15*2 + 4*3$ ) **49**
- Conversation téléphonique (=  $6*2 + 19*3 + 1*4$ ) **73**
- Calcul par téléphone (=  $1*3 + 25*4$ ) **103**

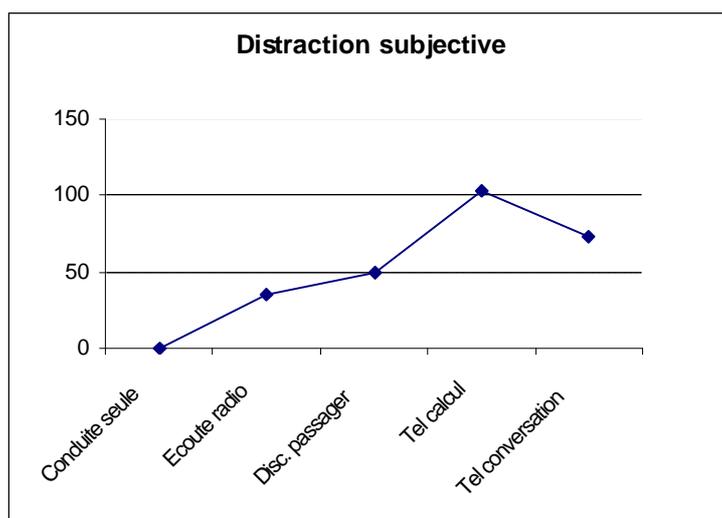


Figure 24 : Evaluation subjective de la distraction selon les situations

Ces résultats montrent que l'écoute de la radio est vécue comme peu perturbatrice pour la conduite. Seul deux sujets lui ont donné une troisième position. Il s'agissait de sujets particulièrement intéressés par l'émission écoutée. En outre, pour une grande majorité des conducteurs (25/26), il est facile ou très facile de détourner son attention de la radio vers la route lorsque cela est nécessaire.

La discussion avec un passager est classée en position intermédiaire (position 2 et 3) par une majorité des sujets (19/26). En outre, la majorité des conducteurs (18/26) a jugé facile ou très facile de détourner son attention d'une discussion avec passager vers la route lorsque cela est nécessaire.

Le fait de téléphoner apparaît comme la situation la plus perturbatrice pour la conduite et plus particulièrement lorsqu'il s'agit de faire des calculs au téléphone. Pour une majorité des conducteurs (19/26), il est difficile ou très difficile de détourner son attention du téléphone vers la route lorsque cela est nécessaire.

#### 4.4.5. Variabilité interindividuelle

##### a. Effet d'ordre sur les temps de réponse

Il a été observé une légère augmentation du temps de réponse entre les deux phases de conduite sans tâche ajoutée placées au début et à la fin de la 2<sup>ème</sup> phase de conduite (conduite avec freinage). Cette augmentation semble due à un effet de fatigue lié à la durée relativement longue de l'expérimentation, cette 3<sup>ème</sup> phase de conduite intervenant systématiquement à la fin. L'effet de fatigue devrait être limité en ce qui concerne la conduite avec les tâches ajoutées, dans la mesure où celles-ci ont été effectuées dans un ordre différent selon les sujets.

##### b. Effet d'âge

L'âge des sujets ne semble pas avoir influencé les résultats. Il est vrai que les populations étudiées étaient relativement jeunes. La présence de conducteurs de plus de 65 ans aurait

vraisemblablement permis de montrer des différences selon l'âge (mais ce n'était pas l'objet de cette recherche).

### *c. Effet de sexe*

Quelques différences ont été relevées entre les résultats obtenus pour les hommes et ceux obtenus pour les femmes. Ces différences n'expriment cependant que des tendances non significatives, dont les principales sont les suivantes :

- Toutes situations confondues, les temps de réponse sont sensiblement les mêmes pour les femmes et pour les hommes (3 ms d'écart seulement entre les deux populations). Toutefois, une différence de sensibilité a été observée : femmes et hommes ne semblent pas perturbés de façon identique par les mêmes tâches. A titre d'exemple, les temps de réponse des hommes ont été augmentés plus sensiblement par le fait de discuter avec le passager que ceux des femmes (+ 23% contre + 10%). A l'inverse les femmes ont vu leur temps de réponse augmenter plus fortement pour le calcul mental par téléphone que les hommes (+ 22% contre + 12%).
- Comme précédemment, le rythme cardiaque s'est avéré en moyenne plus élevé de 4.5 battements par minute chez les femmes que chez les hommes, toute situation confondue. On trouve également une plus grande variation du rythme cardiaque en fonction du stress lié à la situation. Ainsi, la différence entre les situations « calcul mental au téléphone » et conduite seule est de 4.7 bat./minute chez les femmes et seulement 2.4 bat./minute chez les hommes.
- Contrairement aux résultats obtenus sur simulateur, les femmes se sont avérées plus performantes que les hommes dans la tâche de calcul mental par téléphone : autant à l'arrêt qu'en conduite, elles ont effectué un nombre plus important de calculs en deux minutes et ce, en faisant moins d'erreurs que les hommes (à l'arrêt : 31.5 calculs en moyenne avec 95.2 % de réponses justes pour les femmes contre 28.9 calculs en moyenne avec 93.9 % de réponses justes pour les hommes ; en conduite : 28.4 calculs avec 95.6 % de réponses justes pour les femmes contre 26.9 calculs avec 89.4 % de réponses justes pour les hommes).

### *d. Temps de réponse et habitude de téléphoner au volant*

Les sujets ont été différenciés selon leur habitude de téléphoner au volant. Dans un premier temps, trois groupes ont été établis :

- Groupe 1 : téléphone exceptionnellement au volant
- Groupe 2 : téléphone régulièrement au volant (plusieurs fois par semaine)
- Groupe 3 : téléphone au moins une fois par jour

En ce qui concerne les temps de lever le pied de l'accélérateur (suite à l'allumage des diodes oranges), les sujets plus habitués à téléphoner au volant se sont avérés globalement un peu plus rapides que les sujets moins habitués, les différences enregistrées ne sont toutefois pas statistiquement significatives.

Habitude Tel	Moyenne	N	Ecart-type
<b>1</b>	397	78	128
<b>2</b>	389	85	138
<b>3</b>	378	98	114
<b>Total</b>	387	261	126

Tableau XXXVII : Temps de réponse pour lever le pied de l'accélérateur (diodes oranges)

Les variations enregistrées pour le freinage sont significativement différentes en fonction de l'habitude de téléphoner au volant (anova :  $F = 5.243$  ;  $ddl = 2$  ;  $p = 0.006$ ). Les conducteurs peu habitués à téléphoner au volant (groupe 1) obtiennent des temps de réponse plus longs que les conducteurs habitués (groupes 2 et 3).

Habitude Tel	Moyenne	N	Ecart-type
<b>1</b>	672	88	155
<b>2</b>	604	90	122
<b>3</b>	628	114	145
<b>Total</b>	634	292	143

Tableau XXXIII : Temps de réponse pour freiner (diodes rouges)

Les conducteurs des groupes 2 et 3 qui téléphonent régulièrement ou journalièrement ont ensuite été regroupés afin de vérifier si l'écart entre ces conducteurs et ceux qui téléphonent peu (conducteurs du groupe 1) variait en fonction de la complexité de la tâche.

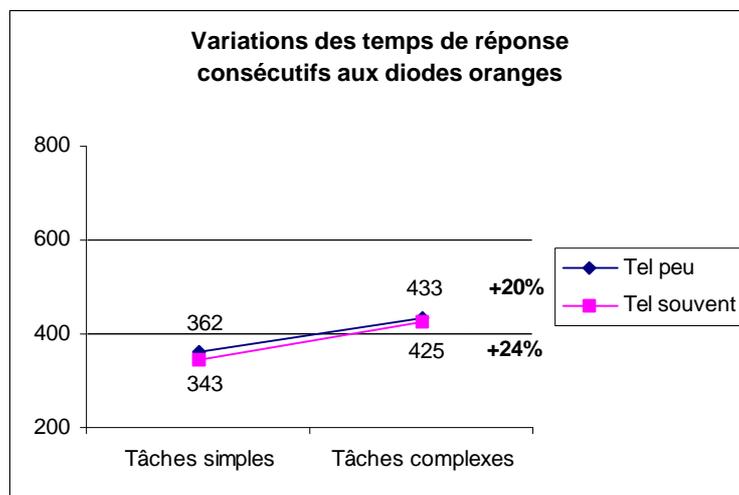


Figure 25 : Temps de lever le pied tâches simples / complexes selon les habitudes de téléphone

Dans le cas des temps de levé le pied de l'accélérateur consécutifs à l'allumage des diodes oranges, les temps de réponse sont systématiquement inférieurs pour les conducteurs téléphonant souvent au volant (régulièrement ou journalièrement) à ceux des conducteurs téléphonant exceptionnellement. Cependant, l'augmentation de ces temps de réponse tend à être légèrement plus importante (+ 24%) chez les conducteurs téléphonant souvent au volant que chez les conducteurs téléphonant peu au volant (+ 20%).

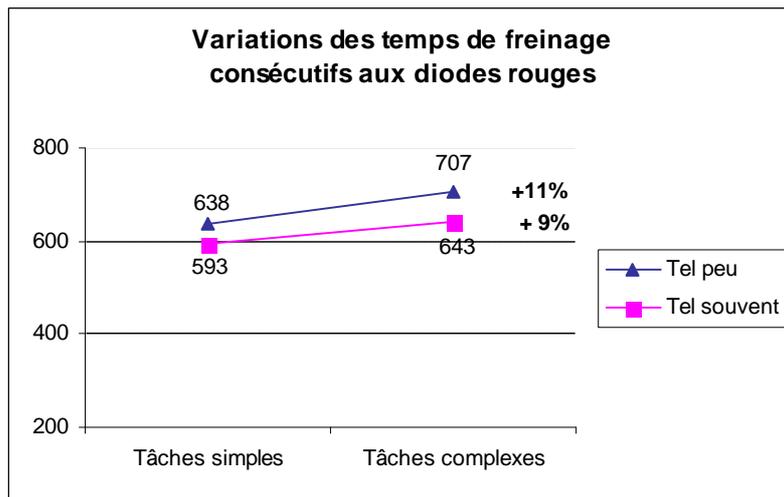


Figure 26 : Temps de freinage tâches simples / complexes selon les habitudes de téléphone

Dans le cas des temps de freinage consécutifs à l'allumage des diodes rouges, les temps de réponse sont inférieurs pour les conducteurs téléphonant souvent au volant (régulièrement ou journallement) à ceux des conducteurs téléphonant exceptionnellement. L'augmentation de ces temps de réponse tend à être légèrement moins importante (+ 9%) chez les conducteurs téléphonant souvent au volant que chez les conducteurs téléphonant peu au volant (+ 11%).



## **5. Discussion des résultats : Impact des différentes tâches ajoutées**

### **5.1. Ecoute de la radio**

L'écoute de la radio n'a pas d'effet perturbateur sur l'attention portée à la route, comme le montrent les paramètres neurophysiologiques (résultats simulateur 2003). Elle n'induit pas non plus d'augmentation du rythme cardiaque qui traduirait une augmentation de la charge mentale du conducteur (résultats simulateur 2003 et piste). En ce qui concerne les performances, on observe même parfois une tendance à la diminution des temps de réponse enregistrés (résultats piste). Cette absence d'effet est en accord avec les résultats obtenus par Strayer et Johnston (2001) et par Consiglio et al. (2003).

Notons toutefois qu'un petit nombre de sujets a évalué subjectivement plus perturbatrice l'écoute radio que le fait de discuter avec un passager, dans des cas où l'émission écoutée a été jugée particulièrement intéressante (résultats piste).

### **5.2. Téléphoner en conduisant**

Les expérimentations réalisées confirment les résultats acquis préalablement et montrent un impact négatif du téléphone sur la conduite. Le fait de téléphoner détourne l'attention de la tâche de conduite. On observe, en effet, une diminution des ondes N200 et P300 traduisant une baisse de l'attention portée à la tâche de conduite lorsque le conducteur téléphone. Parallèlement, la charge mentale évaluée par le biais des fréquences cardiaques est augmentée. Haigney et al. (2000) ont aussi constaté une augmentation de la fréquence cardiaque du conducteur lorsque celui-ci téléphone (+ 3.4 bat/min). Enfin, on observe une dégradation des performances, notamment des temps de réponse.

Concernant ce dernier paramètre, on note cependant, dans la littérature, des divergences sur le taux de dégradation allant de 10.4 % d'augmentation des temps de réponse (Strayer et Johnston, 2001) jusqu'à 50 % (Pachiaudi et al., 1996), en passant par Garcia-Larrea al. (2001) et Consiglio (2003) qui constatent respectivement une augmentation de 18 et 19 %. Ces divergences peuvent s'expliquer par divers facteurs, tels que la méthodologie utilisée. Rappelons à ce sujet qu'un temps de réponse et ses variations n'ont de valeur que dans le contexte de la méthodologie mise en œuvre. A titre d'illustration, lors de notre expérimentation sur piste nous avons mesuré des temps de lever le pied de l'accélérateur et des temps de freinage. Les variations absolues (entre les deux types de temps de réponse) selon les situations ne sont pas notablement différentes ; ce qui se comprend aisément puisque pour le freinage, on ne fait que rajouter une constante qui est le temps de déplacement du pied d'une pédale à l'autre. Par contre, en valeur relative, les taux de variations pour le freinage sont deux fois moindre, puisque la valeur de référence est presque du double. Parmi d'autres paramètres, Alm et Nilsson (1995) individualisent l'âge des sujets en comparant deux populations, l'une jeune (moyenne d'âge environ 29 ans) et l'autre composée de seniors

(moyenne d'âge 67 ans). Les taux d'augmentation des temps de réponse lors d'une conversation téléphonique sont respectivement de 34 % et de 72 %. Il faudrait pondérer ces résultats par l'habitude de téléphoner en conduisant, les conducteurs âgés étant probablement en moyenne moins coutumier du fait. Tokunaga et al. (2000) différencient des tâches simples pour lesquelles le taux d'augmentation des temps de réponse est de 35 % des tâches complexes qui s'accompagnent d'un taux de 56 %.

Comme Tokunaga et al. (2000) et d'autres auteurs, nous avons considéré que le contenu de l'appel téléphonique conditionnait fortement le déficit attentionnel enregistré. Pour cette raison, au total, quatre types d'appels ont été testés au cours des trois expérimentations :

- Deux conversations peu interactives (simulateur 2002) : « téléphone vacances » et « téléphone secrétaire » qui se différençaient par leur contenu. La première était relativement dépourvue d'intérêt (récit des formalités à accomplir préalablement à un embarquement en avion) et impliquait une écoute passive de la part du conducteur. La seconde impliquait une plus grande mobilisation des fonctions cognitives (planification d'un déplacement).
- Des opérations de calcul mental (simulateur 2003 et piste).
- Des conversations très interactives portant sur des thèmes de la vie courante (expérimentation sur piste).

Les conversations testées sur simulateur en 2002 « **téléphone vacances** » et « **téléphone secrétaire** » avaient été conçues afin d'être les moins interactives possibles, en raison des contraintes d'acquisition des potentiels évoqués (le fait de parler présente le risque de perturber le signal). Les résultats obtenus sont toutefois contrastés. Seule la conversation « secrétaire », qui faisait appel à des processus cognitifs de haut niveau tels que la résolution de problème et la planification, a induit une baisse significative de l'amplitude du complexe N2-P3 ainsi qu'une augmentation significative du rythme cardiaque. En outre, l'augmentation des temps de réponse s'est avérée près de deux fois supérieure dans cette situation (9% pour « téléphone vacances » contre 17% pour « téléphone secrétaire », de même que le nombre de cibles non détectées (7 dans le premier cas contre 14 dans le second cas). Ces résultats montrent l'importance de la composante cognitive de l'activité sur la dégradation de la tâche de conduite et confirment ceux de Strayer et Johnston (2001) qui précisent que l'interférence entre conversation téléphonique et tâche de conduite a ses origines au niveau cognitif et non pas perceptif.

En ce qui concerne le **calcul mental au téléphone**, malgré quelques différences en terme de passation que l'on peut noter entre les deux expérimentations (simulateur 2003 et piste)<sup>1</sup>, les

---

<sup>1</sup> Sur simulateur, les temps de réponse correspondaient à des temps de lever le pied de l'accélérateur selon un choix de cible binaire (pertinente / non pertinente). Ils avaient été enregistrés au moyen d'électrodes positionnées sur les muscles. Sur piste, les temps de réponse étaient enregistrés à partir de l'appui sur le pédalier de la voiture. Deux réponses étaient possibles : en cas d'allumage des diodes oranges, lever le pied de l'accélérateur ; en cas d'allumage des diodes rouges, freiner.

Dans le cas du simulateur, les sujets donnaient à haute voix les résultats des opérations toutes les cinq opérations (pour éviter de trop bruyier les potentiels évoqués) ; ce qui impliquait un maintien coûteux des calculs intermédiaires en mémoire de travail. Dans le cas de l'expérimentation sur piste, les résultats étaient donnés après chaque opération. Par ailleurs, le nombre d'erreurs de calcul a pu être maximisé dans le cas de l'expérimentation sur piste car une même série de cinq opérations pouvait comporter plusieurs erreurs, contrairement à l'expérimentation sur simulateur où une seule valeur était donnée. Enfin, les séquences de calcul duraient deux minutes sur la piste et environ six minutes sur simulateur.

résultats sont très proches sur les paramètres communs : paramètres cardiaques (phase 2 de la conduite sur piste) et critères de performances (phase 3 de la conduite sur piste).

- On observe, dans les deux cas une augmentation significative du rythme cardiaque qui passe de 80.8 (conduite seule) à 88.5 (conduite avec calcul au téléphone) sur simulateur (soit + 10 %) et de 81.3 à 84.8 sur la piste (soit + 4%). L'augmentation plus importante enregistrée sur simulateur est vraisemblablement liée à un stress plus important dans cette condition dans la mesure où les sujets devaient mémoriser des calculs intermédiaires, ce qui impliquait une plus forte mobilisation de leur mémoire de travail. En outre, la phase de conduite sur piste, sur laquelle portent les enregistrements cardiaques, bien que plus réaliste était plus simple à réaliser car les conducteurs n'avaient pas de détection de signal à effectuer.
- On observe une augmentation importante des temps de réponse<sup>2</sup> (17 % sur piste et 27 % sur simulateur). Dans les deux cas, les nombres de cibles non détectées sont également augmentés. Le nombre de cibles non détectées est même multiplié par 6.5 sur simulateur.

Les paramètres non communs aux deux expérimentations montrent également un impact négatif de cette situation sur la conduite. Il a été observé notamment une diminution très importante des ressources allouées à la tâche de conduite (baisse très significative de 33% de l'onde P300 et de 41 % de la différence P3-N2). D'un point de vue plus subjectif, la presque totalité des sujets sur piste a classé cette tâche comme étant la plus gênante pour la conduite. Enfin, une dégradation de la tâche secondaire a été observée en conduite (sur piste). En effet, les nombres de calcul effectués en un temps donné se sont avérés significativement inférieurs ainsi que les nombres de réponses justes à ces calculs.

En ce qui concerne les **conversations interactives**, testées uniquement sur piste, les baisses de performances enregistrées sont les plus fortes. Les temps de réponse sont augmenté de plus 30% lorsqu'il s'agit de lever le pied et plus de 10% pour freiner. Cependant, cette situation a été jugée comme moins perturbatrice que la précédente, résultat confirmé par les variations du rythme cardiaque moins élevées également que pour la tâche de calcul par téléphone. Ceci pourrait être expliqué par le fait que les sujets se sont plus volontiers laissés distraire par cette tâche dans laquelle ils étaient impliqués de façon personnelle et devaient donner leur avis sur des thèmes de la vie courante, contrairement à la précédente qui était plus artificielle, même si cette dernière induisait une plus forte charge mentale. Ces discussions avaient été conçues de façon à faire appel à la mémoire (donner une recette de cuisine, raconter un événement particulier...) à des jugements (donner son avis sur les limitations de vitesse...), activités qui mobilisent fortement le système cognitif. Cependant, ces discussions étaient relativement simples. On peut imaginer qu'en cas de problème plus complexe à résoudre une dégradation plus importante des performances aurait été observée.

L'examen de ces différents résultats nous permet ainsi de distinguer, trois éléments qui semble conditionner le niveau de perturbation : l'interactivité de la conversation, le fait de devoir résoudre un problème et le fait de s'impliquer personnellement dans la conversation.

- L'interactivité de la conversation : une conversation très interactive est de fait plus perturbatrice qu'une conversation où l'interlocuteur ne fait presque qu'écouter. A cet égard, les deux conversations testées sur simulateur en 2002 avaient été conçues de

---

<sup>2</sup> Les temps de réponse simulateur sont comparés aux temps de réponse consécutifs à l'allumage des diodes oranges sur piste. Dans les deux cas, il s'agit de lever le pied de l'accélérateur.

façon à limiter le temps de parole des sujets, pour ne pas trop brüiter les potentiels évoqués enregistrés. A l'inverse, les conversations testées sur piste ont été volontairement très interactives et donc plus perturbatrices.

- Le fait de résoudre un problème : même à niveau d'interactivité limité, la résolution de problème constitue un facteur perturbateur, c'est ce qu'indiquent les situations « téléphone secrétaire » (simulateur 2002) et encore davantage « calcul mental au téléphone » (simulateur 2003 et piste). Les résultats obtenus dans ces situations contrastent fortement avec les quasi monologues purement factuels de l'interlocuteur (« téléphone vacances »).
- Le fait de s'impliquer dans une conversation en faisant appel à la mémoire de travail pour utiliser des connaissances logées en mémoire à long terme est également un facteur important de dégradation des performances de conduite. C'est ce qu'indiquent les conversations téléphoniques de l'expérimentation sur piste qui ont trait à des événements de la vie quotidienne où à des jugements subjectifs qu'il faut reconstituer et énoncer.

D'autres facteurs de perturbations existent tels que les conversations fortement chargées sur le plan émotionnel, mais qui sont, bien sûr, difficile à « jouer » expérimentalement.

### **5.3. Discussion avec un passager**

Cette tâche comporte des points communs avec la tâche de conversation au téléphone. Ce sont les mêmes prétextes à communication très interactifs qui ont été utilisés. Malgré cela, la dégradation des performances est relativement inférieure (+ 17 % contre 33% pour lever le pied et + 7% contre 11% pour freiner).

Bien que l'augmentation du rythme cardiaque soit très proche (83.3 battement par minute avec passager contre 82.8 battement par minute au téléphone), discuter avec un passager est vécu comme beaucoup moins gênant pour la conduite. Plusieurs sujets ont expliqué spontanément qu'il était plus facile de différer sa réponse avec un passager, lorsque la situation de conduite l'impose que lorsque l'on discute avec un interlocuteur au téléphone. C'est sans doute le fait de se sentir plus accroché et donc de produire une attention plus soutenue envers un interlocuteur au téléphone qu'envers un passager qui marque une différence essentielle pour hiérarchiser l'impact de ces deux tâches.

Pour Nunes et Recarte (2002), il n'y pas de différence selon que la conversation s'effectue par téléphone ou avec un passager sauf en ce qui concerne l'évaluation subjective de l'effort mental. Consiglio et al. (2003) constatent une augmentation moins importante lors d'une conversation avec un passager que par téléphone (16% contre 19%), mais cette différence n'est pas significative. Ils soulignent, cependant, que la méthodologie utilisée génère des signaux imprévisibles dans les deux cas et qu'il n'en serait peut-être pas de même lorsque le conducteur peut anticiper un événement et adapter son débit locutoire en fonction de sa participation ; ce qui serait peut être plus facile avec un passager que par téléphone. Pour Fairclough et al. (1991), converser au téléphone serait plus dangereux que le faire avec un passager. On constate que ces auteurs font appel à des méthodologies et des paramètres différents. Ceci peut expliquer quelques divergences. On doit peut être aussi tenir compte des différences interindividuelles tant au niveau du conducteur que du passager et de l'effet

« expérimentation » qui peut gommer quelques différences entre les deux situations (par exemple, l'effet des consignes données aux sujets ). Si l'on compare nos résultats avec ceux des différents auteurs, on constate qu'ils confirment clairement les observations de Fairclough (1991).

## 6. Conclusion et perspectives de recherche

### 6.1 Evaluation des perturbations de l'attention

Les expérimentations sur simulateur et sur piste ont montré des résultats concordants en ce qui concerne les situations communes (conduite seule, écoute radio et calcul mental au téléphone) et leurs paramètres communs (temps de réponse et fréquences cardiaques). Ceci aboutit à une validation réciproque des deux types de configuration expérimentale.

Parallèlement, l'approche multi-paramétrique que nous avons proposée s'est avérée profitable de diverses manières. Les paramètres étudiés, indicateurs d'attention, peuvent être classés selon leur position dans la chaîne du traitement de l'information. Ainsi, les Temps de Réponse et les erreurs, sont consécutifs au traitement et expriment, le plus souvent, ses conséquences. Les Potentiels Evoqués Cérébraux, indicateurs de l'activité du Système Nerveux Central, sont contemporains du traitement et expriment l'attention portée à une tâche donnée. La fréquence cardiaque, sous l'influence du Système Nerveux Végétatif, est le reflet d'une charge mentale globale prenant en compte l'ensemble des tâches en cours de réalisation. Elle est conjointement la traduction d'un travail cognitif et d'un facteur de stress, les deux n'étant pas généralement indépendants puisque une tâche considérée comme difficile sur le plan cognitif est souvent génératrice de stress et ceci tout particulièrement lorsqu'il existe une contrainte temporelle forte comme c'est le cas dans le contexte de conduite d'automobile. Ainsi, nous avons mesuré les paramètres suivants, comme indicateurs d'attention :

- Potentiels Evoqués (ondes P300, N200, complexe P3-N2) ;
- Temps de Réponse ;
- Paramètres cardiaques.

Selon la nature de l'intérêt que l'on porte aux résultats, on peut utiliser certains paramètres ou d'autres. C'est ainsi que l'on peut créer quatre types d'indice dont trois à partir des paramètres mesurés :

- Un indice de traitement de l'information routière qui regroupe les amplitudes de P3 et du complexe P3-N2
- Un indice de performances constitué des temps de réponse et des erreurs de détections
- Un indice de charge mentale qui est exprimé par la variabilité du rythme cardiaque
- Un indice plus subjectif de l'évaluation de la perturbation telle qu'elle est ressentie

On peut ainsi regrouper ces différents indices en les pondérant afin que leur poids respectifs soient à peu près équivalents, pour créer un indice global de déficit attentionnel à la conduite. Dans le cadre de l'étude sur simulateur et afin de tenir compte des divers mécanismes mis en jeu, il nous a paru séduisant de réaliser une fusion entre ces différents paramètres afin de constituer un indice global de perturbation du conducteur. Son utilisation dans un autre contexte devrait donner lieu à une re-calibration par comparaison entre une situation de

référence (conduite seule) et au moins une tâche commune avec cette recherche. Ce travail ne constitue qu'une première approche. Il faudrait valider la démarche et probablement amener des améliorations par intégration de nouveaux paramètres.

Même si, comme le traduisent les corrélations observées, les différents paramètres utilisés sont étroitement liés et résultent d'un processus essentiel commun, ils présentent cependant des significations spécifiques et ne sont qu'en partie seulement redondants. L'examen des divergences observées permet de différencier plusieurs mécanismes possibles du détournement de l'attention du conducteur au profit d'une tâche ajoutée.

Sur un plan plus général, les hypothèses ont été validées et il a été possible de proposer des échelles hiérarchiques de la perturbation de l'attention du conducteur générée par l'adjonction, à la tâche de conduite, d'une tâche de communication audio-vocale. L'écoute radio s'est avérée non perturbatrice pour l'activité de conduite la plupart du temps. A l'inverse, lorsque l'on téléphone en conduisant, ce n'est pas seulement le temps de réponse qui est augmenté et parfois très fortement augmenté (jusqu'à plus de 30%), mais c'est également le risque de ne pas percevoir une cible importante dans l'environnement routier qui est multiplié. Notons également que la conversation téléphonique est elle-même dégradée. Enfin, les modifications des performances sont fonction des processus cognitifs impliqués. Plus ceux-ci sont de haut niveau et plus les performances seront dégradées. Une conversation avec un passager se différencie de cette dernière situation par le fait que l'interlocuteur étant présent dans le véhicule, le conducteur se sent plus libre de différer sa réponse lorsque la situation de conduite l'exige.

## **6.2 Validation de la méthodologie**

### ***6.2.1. Approche simulateur de conduite/Piste***

La méthodologie des Potentiels Evoqués qui permet de suivre en direct l'activité cérébrale et donc les processus cognitifs qui régissent les capacités attentionnelles est applicable dans le cadre d'expérimentations sur simulateur. Mais elle comporte des contraintes qui font qu'actuellement l'acquisition des Potentiels Evoqués dans une configuration expérimentale sur piste, n'a pas été testé et reste problématique. Ainsi, nous considérons les deux types d'expérimentation sur simulateur et sur piste comme complémentaires : caractère plus écologique de la conduite réelle d'un véhicule, meilleur contrôle de l'ensemble des variables facilitant les études comparatives dans le cas du simulateur.

### ***6.2.2. Apport des paramètres physiologiques***

#### ***a. Potentiels Evoqués Cérébraux***

L'aspect innovant de cette recherche est lié, en partie, à l'utilisation des Potentiels Evoqués Cérébraux. Il n'a pas été trouvé dans la littérature de travaux qui fasse appel à cette méthode en situation de conduite, si ce n'est à l'université d'Ulm (Spitzer, 2003). L'acquisition des Potentiels Evoqués Cérébraux, bien qu'elle présente des difficultés qui réduisent son

utilisation à des configurations expérimentales est une méthode relativement facile à mettre en œuvre, qui limite au maximum le risque d'erreurs de dépouillement. C'est par ailleurs, l'unique méthode qui évalue de façon directe la part des ressources d'attention qui est soustraite de la tâche de conduite par une tâche ajoutée. C'est la seule qui soit directement reliée au traitement de l'information.

### ***b. Paramètres cardiaques***

L'utilisation de la variabilité du rythme cardiaque était tombée dans le quasi oubli depuis quelques décennies. Si l'acquisition est relativement aisée, compte tenu de l'amplitude importante du signal cardiaque, son traitement est plus long. Contrairement aux potentiels évoqués cérébraux, la variabilité cardiaque ne renseigne pas sur le traitement d'un signal donné, mais sur la charge mentale globale. Ainsi, elle permet de détecter une augmentation de cette charge globale, lorsque l'on ajoute une tâche annexe. Cette augmentation est d'autant plus importante que la tâche annexe est complexe. Cependant, il existe des régulations qui font que l'effet de deux tâches n'est pas purement additif, le sujet étant libre de réduire son implication dans la tâche principale pour pouvoir gérer la tâche ajoutée (c'est ce que l'on observe avec les potentiels évoqués et c'est bien la raison pour laquelle l'ajout d'une tâche à la tâche de conduite peut être accidentogène).

## **6.3 Perspectives de recherche**

### ***6.3.1. Expérimentation sur route***

Afin de compléter les données recueillies, une nouvelle expérimentation sera réalisée sur route en condition réelle de circulation, afin d'observer l'impact de ces différentes tâches dans des situations plus proches de la réalité. Une analyse détaillée du comportement du conducteur, et notamment de ses stratégies visuelles, sera réalisée d'une part, en situation de conduite seule et, d'autre part, en fonction des différentes tâches ajoutées. L'analyse des stratégies visuelles devrait nous permettre d'appréhender la façon dont les conducteurs commutent leur attention de la route à la tâche ajoutée. La fixité du regard est-elle constante ou bien répond-elle à une demande attentionnelle plus ponctuelle ? Dans cette situation, une attention particulière sera accordée à la façon dont les conducteurs régulent leur activité de conduite en fonction de cette double activité (adoptent-ils une conduite plus passive en évitant de dépasser ou en oubliant de se rabattre, par exemple, observe-t-on un rabattement vers la file de droite, une augmentation de la vitesse et une diminution des inter-distances ?). Que se passe-t-il si le conducteur est en train d'effectuer une manœuvre (dépassement, par exemple) ? Lorsqu'il téléphone, a-t-il besoin de faire répéter son correspondant ? Interrompt-il son écoute de la radio ? Enfin une attention particulière sera apportée aux moments de prise de ligne. Ceux-ci ont été choisis dans des situations différenciées par leur degré de criticité (en l'absence de trafic, au moment d'une insertion sur autoroute, avant un dépassement...).

### ***6.3.2. Amélioration de l'évaluation de la charge mentale***

En référence aux données de la littérature (cf. paragraphe 2.2.3) de nouveaux protocoles de traitement peuvent être mis en œuvre pour mieux connaître les niveaux de charge mentale et tenter d'individualiser les composantes de cette dernière.

Tout d'abord il est prévu d'évaluer l'arythmie sinusale qui n'intéresse que les hautes fréquences de variabilité par l'adjonction d'un capteur respiratoire et éventuellement en utilisant la méthode « peak-to-valley ». Cette arythmie devrait diminuer lorsque la charge mentale augmente.

Ensuite, nous avons prévu de mettre en œuvre, et ceci sur les données déjà acquises dans ce présent travail, des méthodes spectrales d'analyse de la variabilité du rythme cardiaque (FFT). Ces méthodes comme l'ont montré Ragozin et ses collaborateurs (Ragozin, 2002 ; Ragozin et Kononov, 2002) permettent d'individualiser un glissement de l'énergie spectrale vers les bandes de plus basses fréquences lorsque le travail mental s'accroît. D'autre part, et c'est un travail de recherche méthodologique en soi, la répartition de la densité spectrale selon les différentes bandes de fréquences pourrait varier selon que prédomine, dans la charge mentale, la composante cognitive ou celle qui a trait au stress.

Enfin, nous envisageons en collaboration avec la division Ergonomie de l'entreprise Renault et le laboratoire de la performance de l'université Lyon I de compléter le paramètre cardiaque en lui associant la variable électrodermique.

### ***6.3.3. Rapprochement des méthodologies***

Lors de l'initiation de cette recherche, nous redoutions qu'une activité importante des muscles faciaux lors de l'enregistrement des Potentiels Evoqués Cérébraux ne génère trop de bruit parasite pour que les tracés demeurent exploitables. Pour cette raison nous avons réduit fortement l'interactivité des conversations téléphoniques. Actuellement, en tenant compte de l'expérience acquise (en se basant sur une répartition statistique de la temporalité des stimuli par rapport à la parole), nous considérons que des conversations interactives telles que celles entretenues dans l'expérimentation piste ne sont pas incompatibles avec l'obtention de Potentiels Evoqués exploitables. Après des pré- expérimentations visant à tester la faisabilité et à mettre en œuvre des aménagements, ceci sera entrepris.

Par ailleurs, compte tenu des caractéristiques géométriques de la piste d'essai de l'INRETS il pourrait être possible d'enregistrer des Potentiels Evoqués sur piste dans la configuration de l'expérimentation qui a été réalisée en 2003 (notamment absence de trafic) en se limitant toutefois à des levers de pied de l'accélérateur sans freinage. Comme il a été souligné ci-dessus ce dernier ne fait que rajouter une constante de temps correspondant à l'activité motrice pour passer d'une pédale à l'autre.

Ces deux enrichissements méthodologiques devraient permettre de rapprocher les deux contextes expérimentaux (simulateur et piste) et de mieux hiérarchiser les différences entre situations en augmentant l'exploitation des paramètres communs.

### ***6.3.4. Les assistances à la conduite***

A moyen terme, une fois les apports méthodologiques décrits ci-dessus réalisés il est envisagé d'évaluer des assistances vocales. Dans ce cas, il sera nécessaire de mettre en balance leur effet positif sur la sécurité et leur effet distracteur. D'autre part, le risque inhérent lié à leur utilisation ne pourra être évalué qu'en fonction de leur durée d'émission par rapport à la durée du trajet. Cette durée d'émission, fixé par le système, est beaucoup plus prévisible que la durée d'une conversation téléphonique qui est à la discrétion des interlocuteurs.

### ***6.3.5. Imagerie cérébrale***

Dans une optique de compréhension des processus neurocognitifs mis en jeu, beaucoup plus que dans un objectif d'évaluation, des recherches en imagerie cérébrale apparaissent pertinentes, afin de localiser les zones du cerveau impliquées lors des différentes situations de conduite et de tâches ajoutées. Les travaux de Spitzer (2003) en montrent l'intérêt. Cependant, ceci n'apparaît pas comme une priorité immédiate et doit être envisagé que comme une perspective à plus long terme.

## Références bibliographiques

Alm, H., Nilsson, L. (1995). The effect of a mobile telephone task on driver behavior in a car following situation. *Accident Analysis and Prevention*, 27(5), 707-715.

Berntson, G.G., Bigger, J.T. Jr, Erckberg, D.L., Grossman, P., Kaufmann, P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H., Van Der Molen, M.W. (1997). Committee report. Heart rate variability: Origins, methods and interpretative Caveats, *Psychophysiology*, 34: 623-648.

Bilge, A.R., Stein, P.K., Domitrovich, P.P., Gerard, P.L., Rottman, J.N., Kleiger, R.E., Kulbertus, H.E., Pierard, L.A. (1999). Assessment of ultra-low frequency band power of heart-rate variability: validation of alternative methods, *International Journal of Cardiology*, 71: 1-6.

Broadbent, D.E. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.

Brookhuis K.A., de Vries G., de Waard D. (1991). The effect of mobile telephoning on driving performances, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 23(4), 309-316.

Bruyas M.P., Chapon, A., Pachiaudi G., Duraz M., Aillerie I., Michelet R., Garcia-Larea L. (2001). Conséquence de l'Utilisation des Nouvelles Technologies de l'Information pendant la Conduite automobile – COUNTIC - : Apport de la technique des Potentiels évoqués, *Rapport INRETS/LESCOT*, n°1, 51p.

Coles M.G.H., Rugg, M.D. (1995). Event-Related Brain Potentials: An introduction. In M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*, Oxford: Oxford Psychology Series NO.25, 1-26 (Reprinted 1997).

Consiglio W., Driscoll P., Witte M., Berg W.P. (2003). Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response, *Accident Analysis and Prevention*, 35, 495-500.

Donchin, E., Ritter, W., McCallum, W.C. (1978). Cognitive psychophysiology: the endogenous components of the ERP. In E. Callaway, P. Tueting, S.H. Koslow (Eds.), *Event-related brain potentials in man*. New York: Academic Press, 349-441.

Fairclough S.H., Ashby M.C, Roos T., Parkes A.M. (1991). Effects of handsfree Telephone use on Driving Behavior, *Actes du Congrès ISATA*, Florence, Italy.

- Garcia-Larrea, L., Bruyant, P., Mauguière, F., (1993). Somatosensory P300 is lateralized in normal human brain: A mapping study using the oddball paradigm. *J. Psychophysiol.* 7, 334-335.
- Garcia-Larrea, L., Perchet, C., Perrin, F, Amedeno, E. (2001). Interference of cellular phone conversations with attention and motor readiness. *Journal Psychophysiol.*, 15, 14-21.
- Grossman, P., Van Beek, J., Wientjes, C. A (1990). Comparison of three quantification methods for estimation of sinus arrhythmia, *Psychophysiology*, 27: 702-714.
- Guérit, J.M. (1998). *Les potentiels évoqués*. Paris : Masson, 399p.
- Haigney D.E., Taylor R.G., Westerman S.J. (2000). Concurrent mobile (cellular) phone use and driving performance: task demand characteristics and compensatory process, *Transportation Research Part F*, 3, 113-121.
- Hillyard S.A., Picton, T.W., Regan, D. (1978). Sensation, perception and attention: Analysis using ERPs. In E. Callaway, P. Tueting, S.H. Koslow (Eds.), *Event-related brain potentials in man*. New York: Academic Press, 223-347.
- Hoffman J.E., Simons R.F., Houck M.R. (1983). Event-related potentials during controlled and automatic target detection, *Psychophysiology*, 20: 625-632.
- Julesz B., Bergen J.R. (1983). Textons, the fundamental elements in preattentive vision and perception of textures, *Bell System Technical Journal*, 62, 1619-1645.
- Kahneman D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Kahneman D., Treisman A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of attention*, New York: Academic Press, 29-61.
- Kalsbeek, J.W.H., Ettema, J.H. (1963). Scored irregularity of the heart pattern and measurement of perceptual or mental load, *Ergonomics*, 6: 306-307.
- Kroll N.E.A. (1975). Visual short-term memory. In D. Deutsch & J.A. Deutsch (Eds.), *Short-term memory*, New York: Academic Press, 108-151.
- Kubota Y, Sato W, Toichi M, Murai T, Okada T, Hayashi A, Sengoku A. (2001). Frontal midline theta rhythm is correlated with cardiac autonomic activities during the performance of an attention demanding mediate procedure. *Cog Brain Res*, 11: 281-87.
- Laberge-Nadeau, C., Maag, U., Bellavance, F., Desjardins, D., Messier, S., Saïdi, A. (2001). *Les téléphones mobiles/cellulaires et le risque d'accidents*. Université de Montréal, Canada.
- Lacey, J.I. and Lacey, B.C. (1958). Verification and extension of the principle of autonomic response stereotypy, *American Journal of Psychology*, 71: 53-73.
- Mangun, G.R., & Hillyard, S.A. (1997). Mechanisms and models of selective attention. In M.G.H. Rugg & M.D. Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*. Oxford: Oxford Psychology Series NO.25, 40-85.

- Mulder, G. (1985). Attention effort and sinus arrhythmia: how far are we? In J.F. Orbeleke, G. Mulder and L.J.P. Van Dornan (Eds.) *Psychophysiology of cardio-vascular control*, NY: Plenum Press, 407-424.
- Mulder, L.J.M. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environment, *Biological Psychology*, 34: 205-236.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 494p.
- Nunes L., Recarte M.A. (2002). Cognitive demands of hands-free-phone conversation while driving, *Transportation Research F*, 5, 133-144.
- Pachiaudi, G. (2001). Les risques de l'utilisation du téléphone mobile en conduisant : Existe-t-il des solutions technologiques adaptatives ?. *Synthèse INRETS*, N°39, à paraître en décembre 2001, 69p.
- Pachiaudi, G., Morgillo, F., Deleurence, P., Guillon, V., (1996). Utilisation du téléphone mains-libres : Impact de la communication sur la conduite automobile. *Rapport INRETS N° 212*.
- Pavlov I.P. (1927). *Conditioned reflexes*, Oxford: Clarendon Press.
- Porges, S.W., Raskin, D.C. (1969). Respiratory and Heart rate component of attention, *Journal of Experimental Psychology*, 81: 497-503.
- Posner M.I., Snyder C.R.R. (1975). Attention and cognitive control. In R.L. Solso (Eds.), *Information processing and cognition, The Loyola Symposium*, Hillsdale, NJ: Laurence Erlbaum Associates, 55-85.
- Ragozin, A.N. (2002). Identification of low frequency components VLF and ULF of ranges and analysis of transients on 5 minutes cardiac rhythm time series with use of a spectral analysis on a plane of complex frequencies, Article en russe, traduit par l'auteur, transmis par courrier.
- Ragozin, A.N., Kononov, D.Y. (2002). Importance of account of a power spectrum dispersion in the spectral analysis of a cardiac rhythm, Article en russe, traduit par l'auteur, transmis par courrier.
- Redelmeier, D.A., Tibshirani, R.J. (1997). Association between cellular telephone calls and motor vehicle collisions. *The New England Journal of Medicine*, 336(7), 453-458.
- Richards, J.E., and Casey, B.J. (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants, *Psychophysiology*, 28: 43-53.
- Sayers, B., Mc A. (1973). Analysis of heart rate variability, *Ergonomics*, 16: 17-32.
- Schneider W., Dumais S.T., Shiffrin R.M. (1984). Automatic and control processing and attention. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of attention*, New York: Academic Press, 1-27.

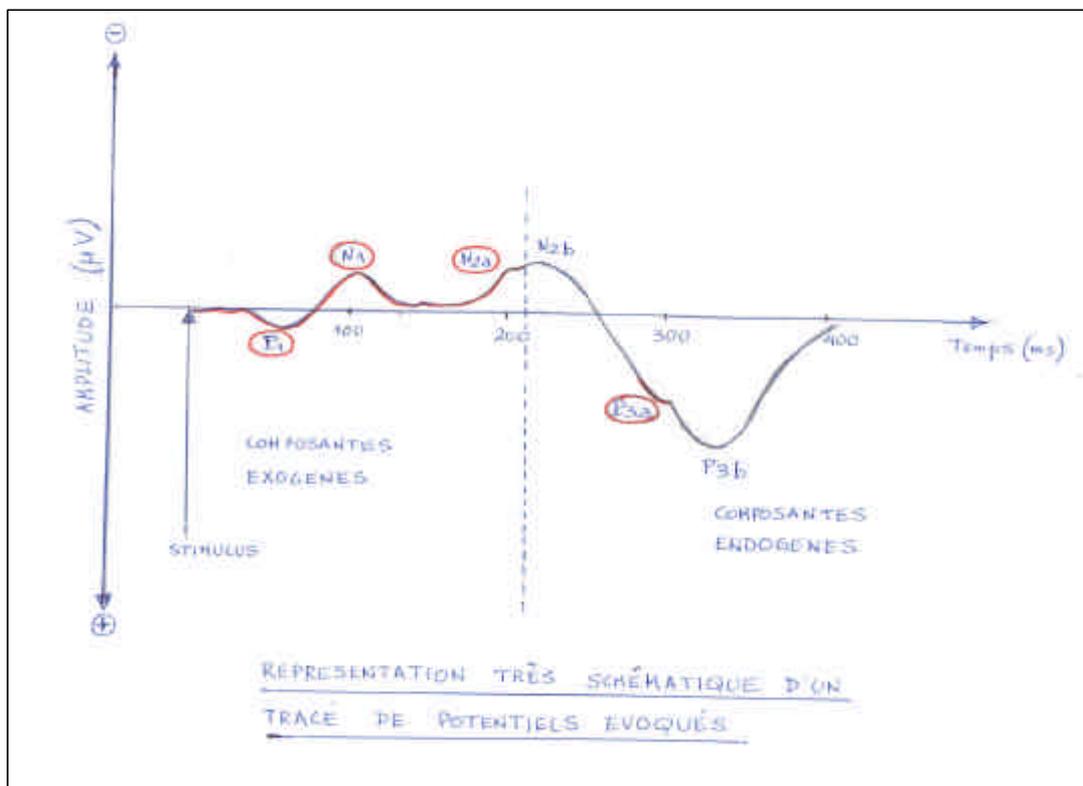
- Schneider W., Shiffrin R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Shiffrin R.M., Schneider W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory, *Psychological Review*, 84, 127-189.
- Sokolov E.N. (1963). Higher nervous functions: the orienting reflex. *Annual Review of Physiology*, 25, 545-580.
- Spitzer, M. (2003). Les pièges de la route, *Cerveau et Psycho*, n°1 : mars-juin 2003, 18-22.
- Strayer D.L., Johnston W.A. (2001). Driven to distraction: Dual-task Studies of Simulated Driving and Conversing on a Cellular Telephone, *Psychological Science*, 12(6), 462-466).
- Timsit-Berthier, M., Geron A. (1998). Manuel d'interprétation des potentiels évoqués endogènes (P300 et VCN). Liège : Mardaga, 64p.
- Tokunaga R.A., Hagiwara T., Kagaya S., Onodera Y. (2000). Effect of conversation through a cellular telephone while driving on driver reaction time and subjective mental workload, *Proceedings of Transportation Research Board 79<sup>th</sup> Annual Meeting*.
- Treisman, A.M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
- Treisman, A.M. (1988). Features and objects: the fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40, 201-237.
- Treisman A.M., Gelade, G.A. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Violanti J.M. (1997). Cellular phone and traffic accidents, *Public Health*, 111, 423-428.
- Weber, R.J.M., Van Der Molen, M.W., Molenaar, P.C.M. (1994). Heart rate and sustained attention during childhood: Age changes in anticipatory heart rate, primary bradycardia and respiratory sinus arrhythmia, *Psychophysiology*, 31: 164-174.
- Wickens C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D.R. Davis, (Eds.) *Varieties of attention*, New-York: Academic Press, 63-102.
- Wickens, C.D., Kramer, A.F., & Donchin, E. (1984). The event-related potential as an index of the processing demands of a complex target acquisition task. *Ann NY Acad Sci*, 425, 295-299.

# ANNEXE 1 : Enregistrement des Potentiels Evoqués

## Description des tracés

Les ondes des potentiels évoqués sont désignées par leur polarité négative ou positive et leur latence moyenne d'apparition par rapport au stimulus. Ainsi, l'onde N200 est une onde négative que l'on peut observer environ 200 ms après le stimulus et l'onde P300 est une onde positive que l'on peut observer environ 300 ms après le stimulus. P300 peut aussi se rencontrer sous l'appellation P3, ce qui peut engendrer quelques confusions. Si l'on parle de ses composantes, on dira P3a pour désigner la première et P3b pour désigner la seconde.

Par convention, les polarités négatives enregistrées par l'électrode active sont généralement exprimées par une déviation vers le haut, les positives vers le bas. Les amplitudes sont exprimées en microvolts. La figure suivante illustre ce que l'on peut observer.



L'interprétation des potentiels évoqués s'effectue en recherchant la présence ou l'absence d'ondes identifiées sur un tracé et par l'analyse de l'amplitude et de la latence de ces ondes. En effet, autour de la valeur moyenne, la latence peut varier. Ainsi, le moment de survenue de P3a en Pz s'étale d'environ 250 à 320 ms. Pour P3b, il s'étale d'environ 310 à 390 ms et même au-delà.

On différencie habituellement les ondes des potentiels évoqués en composantes exogènes, dont les caractéristiques sont déterminées par les attributs du stimulus, et en composantes endogènes (dont N2b et P3b), qui ne dépendent que des processus cognitifs mis en jeu par le sujet pour le traitement de l'information.

## ANNEXE 2 : Enregistrement des Potentiels Evoqués

### Méthode d'acquisition

Compte tenu de leur faible amplitude (quelques microvolts), les potentiels évoqués cérébraux recueillis par des électrodes fixées sur le scalp ne sont pas normalement individualisables et identifiables. Ils sont noyés dans le bruit de fond que constitue l'EEG et parasités par l'activité musculaire, les mouvements oculaires et par l'activité électrique cardiaque. On doit donc avoir recours à des artifices pour les faire émerger.

**Amplification :** Le signal devra passer de quelques microvolts à une valeur de quelques volts. Une amplification standard aurait pour effet d'augmenter parallèlement le signal et les bruits parasites : il n'y aurait donc aucun bénéfice en terme de lisibilité du signal. Aussi, utilise-t-on des amplificateurs différentiels, qui utilisent la différence entre les signaux recueillis par les deux bornes. L'amplification est effectuée voie par voie entre les deux électrodes (électrode active et électrode de référence). Les signaux parasites (EEG, EMG, ECG...) influencent de façon à peu près équivalente les électrodes de chaque voie, et sont donc peu amplifiés. A l'inverse, les signaux liés à l'activité recherchée se différencient au niveau de chacune des deux électrodes. En théorie, ce gain devrait éliminer l'influence des signaux parasites. En pratique, les résultats ne sont pas aussi favorables (différences de gain, action non homogène des signaux parasites au niveau des différentes électrodes liée à la plus ou moins grande proximité de leurs émetteurs...) et exige d'avoir recours à d'autres techniques.

**Filtrage :** En terme de fréquences, l'amplificateur présente, a priori, une bande passante relativement large. Ceci se justifie du fait des intérêts diversifiés de l'utilisation du matériel : différents modes de stimulation, différentes positions des électrodes et surtout différents composants sur lesquels peuvent se porter l'intérêt à l'intérieur d'un même PE. La décision d'utiliser un filtre plutôt qu'un autre dépendant à la fois de la fréquence des signaux que l'on désire étudier et des artefacts dont on désire s'abstraire.

**Réjection de trace :** Les PE ne sont pas le résultat d'une trace unique, mais correspondent à la sommation de traces similaires. Si, malgré l'amplification différentielle et les techniques de filtrage, certaines traces restent très parasitées, il est possible de les exclure de la sommation. Il existe des systèmes de réjection automatique basée sur critères d'amplitude de signaux parasites, mais il est aussi possible de rejeter des traces après observation à l'œil.

**Moyennage :** L'EEG non contrôlé est relié de façon stochastique à la variable temporelle. A l'inverse, le PE est relié de façon déterministe à la stimulation qui lui a donné naissance. Ce constat a été à l'origine de la technique de moyennage. Si nous additionnons, chez le même sujet,  $n$  traces répondant à des stimulations identiques acquises dans des situations de même nature et synchronisées sur la stimulation d'origine, la trace résultante sera amplifiée par un coefficient multiplicateur égal à  $n$  qui pourra être moyenné afin de déterminer l'amplitude moyenne des éléments du tracé à analyser. L'addition des signaux stochastiques et parasites du PE va amener une réduction, voire un aplatissement de la résultante liée à ces signaux, puisqu'il y a autant de chance qu'ils tombent en opposition de phase, plutôt qu'en phase. A l'inverse, plus  $n$  est élevé, plus le signal évoqué apparaîtra clairement.

## ANNEXE 3 : Enregistrement des Potentiels évoqués

### Positionnement des électrodes

Dans un objectif de clarté et pour permettre des comparaisons entre situations et laboratoires, la position des électrodes a été normalisée au niveau international, c'est « le système 10-20 ». La terminologie employée pour coder les électrodes résulte de la localisation de chaque électrode, selon sa proximité à une région particulière du cerveau. Chaque région est codée par une lettre comme suit :

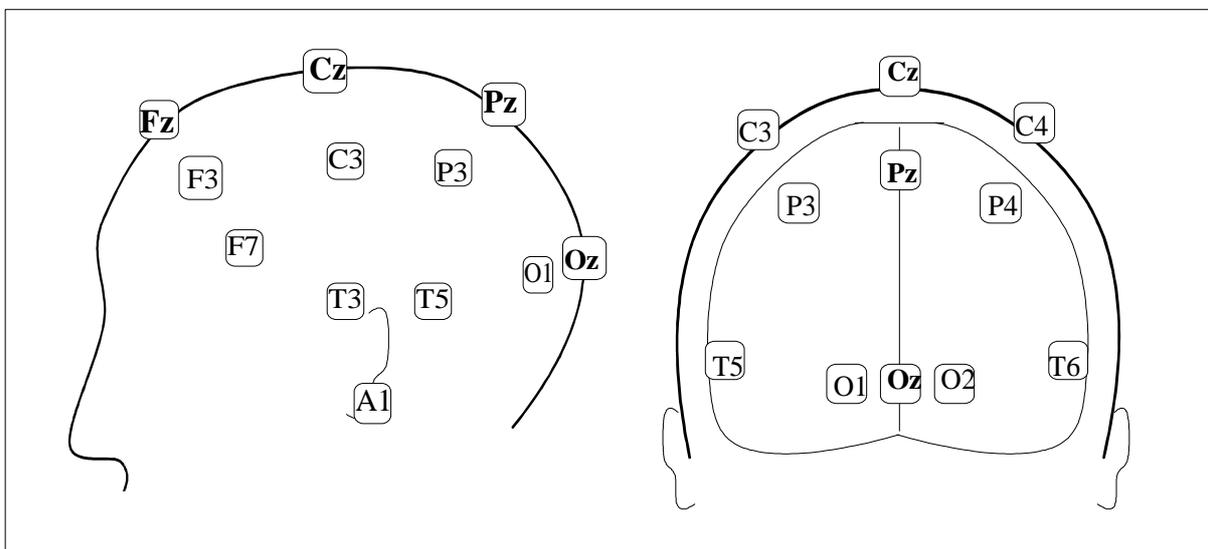
- F pour frontal
- C pour central
- T pour temporal
- P pour pariétal
- O pour occipital

A chaque lettre est affecté un indice :

- la lettre « z » pour les électrodes situées dans le plan sagittal-médian de la tête,
- un nombre pour les électrodes situées de part et d'autre du plan sagittal-médian. D'une façon générale, ce nombre augmente lorsque l'on s'éloigne du plan. A la partie gauche sont affectés des nombres impairs, à la partie droite des nombres pairs.

Ainsi par exemple :

- Fz indique une position d'électrode placée dans le plan médian entre les deux lobes frontaux,
- P4 définit une électrode en regard du lobe pariétal droit.



On utilise aussi des électrodes dites « de référence » positionnées le plus souvent sur le nez ou au niveau des lobes de l'oreille. Ce que l'on enregistre en réalité sont des différences de potentiels entre une électrode active et l'électrode de référence.

## **ANNEXE 4 : Equipement du véhicule expérimental**

### **Expérimentation sur PISTE**

Le véhicule expérimental de l'INRETS - LESCOT est une Citroën ZX équipée de :

- Capteurs potentiométriques permettant de mesurer le pourcentage d'enfoncement des pédales d'accélération, de frein et d'embrayage, les informations recueillies sont enregistrées et stockées sur un ordinateur portable fixé à l'arrière du véhicule.
- Quatre caméras paluches (1/2 pouce) fixées dans l'habitacle de l'automobile permettent de filmer la scène routière vers l'avant, vers l'arrière ainsi que le regard des conducteurs. Les images sont ensuite regroupées à l'aide d'un mélangeur quadra vision et enregistrées sur une seule bande vidéo à l'aide d'un magnétoscope fixé à l'arrière du véhicule.
- Une barre de diodes fixée sur le tableau de bord du véhicule.

L'ensemble de ces appareils embarqués est alimenté sur batterie 12 volts et fixé rigidement sur une plate-forme dans la malle arrière du véhicule expérimental. Les éléments introduits récemment dans le véhicule sont tous conformes à la norme CE.



Véhicule expérimental sur la piste de l'INRETS

## **ANNEXE 5 : Trame des prétextes à communication**

### **(Expérimentation sur PISTE)**

#### **Prétexte 1 : Nourriture**

Aimez vous bien manger ? Savez vous bien cuisiner ? Quel plat préférez-vous manger cuisiner ? Donnez une recette de cuisine.

Quelles spécialités culinaires trouve-t-on à Lyon ? A votre avis qu'est-ce une cervelle de canuts, un tablier de sapeur ? Connaissez-vous un bon restaurant à Lyon ? Où se trouve-t-il ? Qu'est-ce qu'on y mange ? Quel est approximativement le prix du menu de base ?

Pouvez-vous citer quelques spécialités d'Alsace (du Sud-Ouest) ? Donnez la recette (les ingrédients) d'une choucroute (cassoulet). Avec quel type de vin accompagnez-vous ce plat ?

#### **Prétexte 2 : Vacances**

Partez-vous chaque année en vacances ? Vers quel type de destination ? Quel moyen de transport utilisez-vous ? Voyagez vous avec votre voiture lorsque cela est possible ? Si vous deviez voyager dans un pays aux frontières de la France, prendriez-vous votre voiture ? Dans quels pays êtes-vous allé ? Quand, dans quelles circonstances ?

Vous souvenez-vous du nombre maximum de kilomètres que vous avez déjà parcouru pour un voyage en voiture ? Où étiez-vous allé ? Etiez vous seul conducteur ? Avez-vous fait suffisamment de pauses ? A quelle fréquence ?

Pouvez vous me raconter des vacances dont vous gardez un bon souvenir ? Le lieu ? Combien de temps ? Etes-vous déjà parti avec une agence de voyage ? Pourquoi ? Avez-vous déjà fait des voyages (ou passé des vacances) en groupe ? Pourquoi ?

#### **Prétexte 3 : Consommation**

Préférez vous faire vos courses en grandes surfaces ou dans de petits magasins ? Pourquoi ? Pour quels types d'achats ? Où achetez-vous vos vêtements ?

Etes-vous bien équipé en électroménager ? Quel type d'équipement avez-vous ? Où les achetez-vous, pourquoi ?

Possédez-vous un ordinateur/minitel ? Quel type d'informations y cherchez-vous ? Quels logiciels/jeux, utilisez-vous ? Etes-vous connecté à l'Internet ? Est-ce que vous trouvez qu'Internet est un moyen intéressant d'avoir de l'information ? Pensez-vous que la place croissante d'Internet dans la vie de tous les jours est une bonne chose ? Pour les adultes, les enfants, les professionnels ? *Si connecté* : fournisseur d'accès ? en êtes-vous contents, prix de votre abonnement, êtes-vous satisfait de votre débit ? Y a-t-il des moment où il est meilleur bon ? Avantages et inconvénients ? *Si non connecté* : Pourquoi n'êtes-vous pas connecté ? l'envisagez-vous ? Connaissez-vous le prix d'un abonnement, les connexions possibles ?

#### **Prétexte 4 : Sports et loisirs**

Pratiquez-vous ou avez-vous pratiqué un sport (ou vos enfants) ? Où ? Quand ? Fréquence ? Cette activité est-elle bien intégrée dans votre quotidien ? Si non, regardez-vous les sports à la

télévision ? A quels moments ? Le sport que vous pratiquez (regardez) est-il une discipline olympique ? Connaissez-vous un champion de cette discipline ?

Connaissez-vous le foot (le tennis) ? Est-ce qu'il y a un stade vers chez vous ? Pouvez-vous citer des noms de stades connus, des noms d'équipes, de joueurs ? Combien y a-t-il de joueurs dans une équipe ? Donnez les règles du foot (tennis). Expliquez ce qu'est un pénalti (corner, coup franc, touche). Quelles conséquences cela a-t-il ? Essayez de deviner.

Pour les non sportifs : Avez-vous des loisirs (lecture, cinéma, musées, musique) ? Allez-vous au cinéma ? Quel type de film aimez-vous ? Quels sont vos acteurs, réalisateurs préférés ? Quel est le dernier film que vous avez vu ? Pratiquez-vous la musique (quel instrument, quel style de musique, avez-vous appris, faites-vous partie d'un groupe) ? A quels moments ? A quelle fréquence ?

### **Prétexte 5 : Travail - Etudes**

**Si étudiant :** Vous êtes étudiants, de quelle fac ? Dans quelle discipline ? Pourquoi avez-vous choisie cette discipline ? Quel diplôme préparez-vous ? Souhaitez-vous vous spécialiser dans votre domaine ou plutôt élargir votre domaine de compétence ? Lequel ?

Avez-vous déjà eus des examens oraux (soutenances de rapports) ? Comment cela s'est-il passé ? Etiez-vous stressé, pourquoi ? Combien de personnes y avait-il dans le jury ?

Dans quel secteur souhaitez-vous vous diriger à la fin de votre cursus ? Pourquoi ? Quel métier envisagez-vous ? Qu'est-ce que vous en attendez comme avantages et inconvénients ? Avez-vous déjà passé des entretiens (stage, boulots d'été) ? Si oui, racontez (type de questions posées, nombre d'évaluateurs...). Si non, qu'appréhendez-vous le jour où cela vous arrivera ?

**Si travailleur :** Avez-vous fait des études avant de travailler ? dans quel domaine ? Dans quel secteur travaillez-vous ? Depuis combien de temps travaillez-vous dans ce secteur ? Pouvez-vous me parler de votre travail ? Travaillez-vous en équipe, seul ? Est-ce que votre travail vous plaît ? Qu'est-ce qui vous déplaît dans votre travail ?

Pour votre travail, faites-vous beaucoup de déplacements ? De quel type (étranger, France). Pour ces déplacements quels types de moyens de transport utilisez-vous ? Si non, Pour vous rendre à votre travail, comment vous déplacez-vous ? Combien de temps mettez-vous ?

### **Prétexte 6 : Voiture**

Aimez-vous conduire ? Qu'avez-vous comme voiture personnelle ? Est-ce que vous l'avez achetée neuve ? D'une façon générale préférez-vous les voitures françaises ou les voitures étrangères ? Avez-vous une marque de voiture préférée ? Pourquoi ?

Vous souvenez-vous de l'année d'obtention de votre permis ? Est-ce que vous l'avez eu du premier coup ? Vous souvenez-vous, à peu près, combien de cours de conduite vous avez eu avant de passer le permis ? Vous souvenez-vous combien de fautes vous avez fait pour le code ? Pouvez-vous me raconter comment s'est déroulé l'examen avec l'inspecteur ?

Que pensez-vous de la mesure adoptée en Italie : vitesse limitée à 150km/h sur autoroute ? Faudrait-il adopter ce type de mesure en France ? Savez-vous comment cela fonctionne dans les autres pays ? Que pensez-vous du principe « tolérance 0 » dont on parle beaucoup en ce moment ? En ce qui concerne l'alcool au volant. Savez-vous quel est le taux maximum autorisé ? Savez-vous quelle quantité d'alcool cela représente ? Que pensez-vous de l'idée de réduire à 0 le taux d'alcool au volant ? Pensez-vous que c'est réalisable en France ?