

***Interférences motrices et cognitives liées à l'utilisation de téléphones portables.
Etude neurophysiologique et comportementale.***

***Rapport Final.
Bilan des objectifs atteints, conclusions et perspectives***

Luis GARCIA-LARREA

Responsable du Projet :

Luis GARCIA-LARREA, MD, PhD

CRI (HDR) INSERM

Responsable du Laboratoire de Neurophysiologie Humaine du CERMEP

UPRES EA 1880, Université Claude Bernard, Lyon I

Participants au Projet :

Elena AMENEDO, PhD

**Professeur Titulaire, Dept de Psychobiologie, Université de St Jacques de Compostelle,
Galice, Espagne**

Hélène BASTUJI, MD, PhD

Praticien Hospitalier,

**Resposable de la Consultation des troubles du sommeil (Service de Neurologie
Fonctionnelle), Hôpital Neurologique de Lyon**

Caroline PERCHET

Étudiante en Thèse de Sciences, Université Claude Bernard, Lyon

Fabien PERRIN

Étudiant en Thèse de Sciences, Université Claude Bernard, Lyon

Résumé du projet

L'objectif du projet était d'étudier, par la technique des potentiels évoqués, les altérations du fonctionnement cérébral induites par l'utilisation des téléphones portables au cours de tâches attentionnelles. Pour ce faire, une série de manipulations expérimentales ont été développées permettant l'analyse combinée, neurophysiologique et comportementale, des réponses d'une série de sujets alors qu'ils réalisaient une tâche de détection / réaction avec ou sans l'utilisation concomitante du téléphone. L'activité cérébrale en réponse à des cibles visuelles était enregistrée tout le long des tests, alors que deux modalités de conversation, et deux niveaux de difficulté de la manipulation du téléphone (standard et 'mains libres') étaient utilisées sur un plan de présentation randomisé. Les résultats montrent la participation d'au moins *deux mécanismes différents* à la dégradation des performances au cours de tâches de réaction simple lors du maintien concomitant d'une conversation téléphonique. Le premier effet correspond à une **diminution de l'attention aux entrées sensorielles**, ayant comme corollaire une baisse de l'activation corticale induite par le stimulus, avec atténuation de la réponse N200-P300. Cet effet est déjà connu comme étant caractéristique des situations en 'double tâche' ; il dépend de la surcharge cognitive liée à l'ajout d'une conversation à la tâche primaire, et reste *indépendant de la modalité d'usage du téléphone* (entre les mains ou mains libres). Le deuxième facteur est un **affaiblissement de la préparation à répondre avec un acte moteur**. Cet effet se manifeste par l'atténuation des potentiels de préparation motrice en cas d'utilisation du téléphone. Contrairement au premier, ce facteur est apparu *spécifiquement lié à la manipulation du téléphone*, avec tendance à l'amélioration en condition d'utilisation 'mains libres'. De la combinaison de ces deux facteurs naissent les effets comportementaux observés, qui se traduisent essentiellement par un allongement de 20 à 50 % des temps de réaction motrice.

A. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DU PROJET

A1. Contexte général et sociologique

L'utilisation de téléphones portables, lentement progressive depuis la fin des années 80, s'est rapidement généralisée durant ces dernières années et nous assistons actuellement à son augmentation exponentielle dans tous les pays industrialisés. Une bonne partie des conversations au moyen des téléphones portables ("téléphones mobiles cellulaires") est réalisée au cours de la conduite automobile, essentiellement (mais pas uniquement) par des personnes utilisant la voiture dans le cadre de leur travail. Il apparaît peu vraisemblable qu'une tâche de la complexité de la conduite automobile puisse être insensible aux demandes surajoutées d'une conversation téléphonique complexe, nécessitant des efforts d'attention et de concentration de la part du conducteur. En Europe, l'usage du téléphone portable dans la voiture est restreint dans certains pays aux modèles dits "mains libres" (c'est le cas de l'Espagne et du Portugal), alors que dans d'autres pays aucune législation précise ne détermine les conditions de leur usage. En France, bien que la loi soit plutôt restrictive, stipulant que le conducteur "doit être en tout moment à même de réaliser sans entrave les gestes nécessaires à la conduite", l'utilisation d'un téléphone mobile n'a, à l'heure actuelle, pas d'incidence *légal*e sur la détermination des responsabilités après un accident, hormis quelques cas particuliers. Cette situation est cependant en passe d'évoluer à la suite de quelques accidents graves survenus au cours de l'année 2000, largement relayés par les médias, et dont la responsabilité pouvait être imputée directement à l'usage du téléphone.

A2. L'approche psychophysiological

Du point de vue de la psychophysiological, le maintien d'une conversation téléphonique en conduisant la voiture peut être assimilé à une situation dite "de double tâche", où l'attention du sujet doit être partagée entre une obligation "primaire" (devant être privilégiée en cas de conflit) et une tâche "interférentielle", responsable d'une surcharge cognitive ou motrice pouvant perturber la réalisation de la première. La littérature psychophysiological sur les effets entraînés par ce genre de situations ("dual task situations" des auteurs anglo-saxons) est relativement abondante ; les effets les plus constamment relevés consistent en une **prolongation des temps de réaction** à la tâche primaire, interprétée comme le résultat d'une **surcharge attentionnelle** induisant des troubles de la perception et de la prise de décisions (voir Klein et al. 1994, Pashler 1994a,b, Burke et al.1996). Des effets similaires sont donc

légitimement à attendre dans des cas où l'interférence est due à une conversation téléphonique.

Bien que la littérature soit dans ce cas beaucoup moins abondante, l'on peut relever quelques études évaluant les effets de la téléphonie mobile sur les performances au cours des tâches sensori-motrices, et en particulier au cours de la conduite automobile. La plus ancienne (Brown et al. 1969) date d'avant l'avènement de la téléphonie mobile : ses auteurs ont décrit une augmentation des erreurs de jugement lors de la conduite au cours d'une conversation téléphonique, celle-ci réalisée au moyen d'un système accroché à la tête du conducteur. Des études plus récentes ont également montré des perturbations de la conduite automobile dues aux téléphones portables, notamment des déviations par rapport à la voie de circulation (California Highway Patrol Study 1987, Alm et Nilsson 1994). Ces derniers auteurs sont à notre connaissance les seuls à avoir étudié également *la vitesse des réactions motrices* au cours des conversations téléphoniques. Ils décrivent un retard des temps de réaction à la survenue d'événements rares ou surprenants (Alm and Nilsson 1995), mais ces résultats n'ont pas été reproduits par la suite. Des résultats quelque peu étonnants et paradoxaux ont été rapportés par une équipe suédoise, affirmant que certaines conversations "simples" pourraient avoir des effets "facilitateurs" sur la conduite (Briem and Hedman 1995). De même, une étude très récente (publiée après la soumission de ce projet à la Fondation MAIF) décrit de façon surprenante une *amélioration* des temps de réaction motrice au cours de l'utilisation de téléphones cellulaires (Preece et al. 1999).

A3. L'approche neurophysiologique

L'approche neurophysiologique, que nous avons privilégiée pour la réalisation de ce projet, est fondée sur l'enregistrement des réponses cérébrales au cours de la réalisation de tâches cognitives, et vise à étudier les mécanismes responsables des altérations comportementales citées précédemment. L'électrophysiologie cérébrale (électroencéphalogramme (EEG) et potentiels évoqués) nous permet d'aborder avec une précision de l'ordre de la milliseconde les différentes phases qui mènent de l'intégration sensorielle jusqu'à l'exécution d'une réponse motrice. L'avantage majeur de cette approche par rapport aux mesures comportementales est la possibilité d'étudier des aspects tels que la réponse corticale primaire, l'évaluation attentionnelle et cognitive d'un stimulus et la programmation d'une réponse adaptée, variables inaccessibles aux simples mesures de temps de réaction.

Parmi les différentes composantes "cognitives" des Potentiels Évoqués, une des plus étudiées à ce jour est le potentiel "P300" (ou "P3"), activité de polarité positive enregistrée en réponse à des stimulations sélectivement attendues par le sujet (Picton 1992). Il s'agit d'une réponse cérébrale (une "onde" s'inscrivant sur l'EEG) dont on quantifie principalement deux aspects: **son temps de latence** (c.a.d. le temps écoulé entre la présentation du stimulus et la culmination de la réponse) et **son amplitude** (le voltage maximum atteint sur le scalp). D'autres variables telles que la durée du P300, sa surface ou sa distribution topographique sont également quantifiables mais ne seront pas abordées ici.

La latence du P300 témoigne du temps nécessaire pour détecter et catégoriser une stimulation sensorielle spécifiquement attendue (Kutas et al. 1977). Ce temps de latence est sensible aussi bien à la *difficulté intrinsèque* de la tâche qu'à la *difficulté subjective* pour la réaliser (Goodin et al. 1983). C'est à dire que ce temps pourra être allongé, soit pour des raisons liées au stimulus lui-même (stimulus plus difficile à évaluer en raison de sa petite taille, son apparition au sein d'un bruit de fond excessif, etc), soit pour des raisons liées à la personne qui le reçoit (sujet fatigué, somnolent, atteint d'une maladie cognitive, etc...). La latence du P300 représente un "temps de réaction cérébral" à l'état pur, libre de contamination par la réaction motrice, et son allongement indique une augmentation du temps de traitement cognitif du stimulus. Des augmentations pathologiques de cette latence sont communément observées dans les démences corticales ou sous-corticales (Polich et al. 1986, Goodin et Aminoff 1986, Polich 1993) mais également dans une proportion de patients cliniquement non déments, atteints par exemple d'une maladie de Parkinson (Gil et al. 1992, García-Larrea et al. 1996) ou d'un état dépressif majeur (Pfefferbaum et al. 1984).

L'amplitude du P300 obéit à des lois plus complexes que sa latence. En termes empruntés à la psychologie cognitive, l'amplitude du P300 *reflète la quantité de ressources disponibles et utilisées pour le traitement d'un stimulus* (Cfr. Wickens et al 1984, Kok 1997). Chez le sujet normal, l'amplitude du P300 est typiquement diminuée par tout état d'hypo-vigilance, y compris la somnolence physiologique (Bastuji et al. 1995), ainsi que par tout état où l'attention doit être partagée, comme dans les situations de double tâche.

Le comportement du P300 en conditions de "double tâche" a été étudié par plusieurs auteurs. Le résultat le plus robuste est une **diminution d'amplitude** de cette composante, associée ou non à un prolongement de sa latence (Isreal et al. 1980, Kok 1997). Ceci

témoigne de la répartition des ressources cognitives parmi les différentes tâches, entraînant une surcharge attentionnelle et parfois un retard dans la détection du stimulus cible. Il est important de noter que l'étude simultanée des réponses cérébrales et du temps de réaction moteur permet de faire la part entre le temps de traitement du stimulus proprement dit, et celui de programmation/préparation de la réponse. A notre connaissance, aucune étude n'a entrepris d'associer temps de réaction et réponses neurophysiologiques dans des tâches d'interférence utilisant une conversation téléphonique comme élément perturbateur.

A4. Objectifs du Projet

L'objectif général de notre projet est d'analyser les étapes d'intégration sensorielle et de programmation motrice spécifiquement perturbées par l'utilisation concomitante d'un téléphone portable. Plus précisément, cette recherche vise à comprendre les mécanismes cérébraux responsables des altérations comportementales induites chez l'automobiliste par l'utilisation du téléphone.

B. METHODES UTILISEES

Au cours des différentes expériences effectuées, la situation de base était celle d'un sujet assis et alerte, devant détecter et interpréter des stimulations de son environnement et leur donner une réponse motrice adaptée. Nous avons choisi cette situation de base car elle permet de "modéliser" dans le laboratoire toute une série de circonstances réelles nécessitant une adaptation stimulus-réponse, allant du travail sur écran-radar à la conduite automobile.

B1. Création de paradigmes de stimulation

Dès l'acceptation du projet en 1999 nous avons entrepris la mise au point d'une série de tâches de difficulté progressive, pouvant être réalisées aussi bien en situation "libre" que sous interférence par l'utilisation concomitante du téléphone. Toutes ces tâches autorisent l'enregistrement simultané des réponses cérébrales aux stimulations, ainsi que des temps de réaction motrice. Certaines de ces tâches sont dérivées d'autres déjà évaluées dans le laboratoire, qui ont été convenablement modifiées pour les adapter à ce nouveau contexte (v.gr. Garcia-Larrea et Cézanne-Bert, 1998).

La tâche la plus simple que nous avons conçu consiste en la détection d'un stimulus visuel présenté soudainement sur un écran, et dont l'apparition exige du sujet une réponse motrice unique et monophasique (appuyer sur la barre d'espacement d'un clavier). Cette situation a

été considérée, après évaluation préliminaire, trop simple pour nos besoins. En effet, après utilisation en tant qu'expérience-pilote pendant les premiers 3 mois, elle a été délaissée à cause de sa simplicité et monotonie excessives, qui rendaient difficile le maintien de l'attention des sujets. À partir de cette situation de base il a été cependant possible d'établir une progression dans la difficulté de l'évaluation du stimulus et de la préparation de la réponse. Nous avons ainsi créé une série de paradigmes visuo-moteurs de difficulté progressive et de caractéristiques différentes sur le plan psychophysologique. Conformément à ce qui était prévu dans notre projet original, ces paradigmes sont au nombre de 4 :

1- *détection avec discrimination* : identification d'un stimulus "cible" dans la modalité visuelle, présenté avec faible probabilité parmi une série de stimuli "distracteurs".

2- *test d'orientation de l'attention* : présentation de cibles à droite ou à gauche du champ visuel, et réponse motrice adaptée au côté stimulé (ex. boutons droit et gauche d'une souris d'ordinateur).

3- *orientation de l'attention avec indiçage* : même test que précédemment, mais avec annonce de chaque cible par un stimulus de prévention. L'annonce peut être "valide" si l'indice apparaît du même côté que la cible, ou "invalide" s'il apparaît du côté opposé. Le stimulus annonceur peut être auditif (klaxon) ou visuel, selon les fonctions étudiées.

4- *orientation de l'attention avec inhibition du comportement*. Situation analogue au test précédent, mais demandant au sujet d'inhiber sa réponse motrice (c.à.d. ne pas appuyer sur la pédale ou sur le bouton) lors de l'apparition de certaines combinaisons de stimuli.

Deux de ces 4 procédures (n° 1 et 3) ont servi à réaliser des expériences avec évaluation simultanée du comportement (erreurs, temps de réaction) et des potentiels évoqués cérébraux. Le premier test utilisé (*discrimination entre cible et distracteurs*) nous a semblé représentatif d'une situation de conduite relativement stéréotypée, à savoir l'apparition d'un obstacle (= stimulus visuel) sur la route, auquel on doit répondre par une manoeuvre simple et rapide après l'avoir discriminé parmi d'autres stimuli inoffensifs apparaissant sur le même champ visuel. La première expérience comportant simultanément des enregistrements comportementaux et électrophysiologiques (voir ci-dessous) a donc utilisé ce paradigme. Nous avons ensuite utilisé la situation n° 3 (*orientation de l'attention avec indiçage*) pour une deuxième expérience récemment terminée.

B2. L'interférence par le téléphone

Deux difficultés majeures ont dû être contrôlées : d'une part la nécessité de standardisation de chaque situation (mêmes conversations, même interlocuteur, etc), d'autre part la contamination électromagnétique émanant de l'appareil portable, qui entraîne des parasites non seulement sur l'EEG de base (Anderson et al. 1995, Linde et al. 1997, Robinson et al. 1997) mais également sur les réponses cérébrales aux stimulations (Eulitz et al. 1998, Freude et al. 2000). Ces 2 contraintes ont pu être contournées par l'enregistrement préalable de différentes conversations de complexité inégale. Ces enregistrements ont été ensuite présentés aux sujets participants au moyen de mini-écouteurs insérés dans le conduit auditif externe, ce qui a évité la mise en route du téléphone dans les situations où il devait être tenu dans la main.

En collaboration avec nos collègues de l'université de St Jacques de Compostelle, nous avons préparé une série de schémas de conversation par téléphone, puis sélectionné deux en fonction de leur difficulté et de leur adaptation à des situations réelles ou vraisemblables. Chaque enregistrement contient la voix d'un possible interlocuteur qui, après une présentation sommaire, énonce une série de faits que le sujet doit mémoriser et pose des questions de complexité variable, auxquelles le sujet d'expérimentation doit répondre. Une des "conversations" est d'ordre professionnel (en vue d'une possible embauche) et pose au sujet des questions sur son travail, études et activités. La deuxième porte sur des questions ayant trait à la situation expérimentale elle-même, que le sujet doit décrire, ainsi que sur des aspects nécessitant la mise en jeu de mécanismes de mémoire à court et moyen terme. En termes de difficulté intrinsèque la première conversation est relativement simple, le sujet peut répondre de façon adéquate en ayant uniquement recours à la mémoire à long terme, sans avoir besoin d'élaborer ou manipuler des éléments nouveaux pour lui. La deuxième conversation nécessite en revanche la mise en jeu de mécanismes de mémoire à court ou moyen terme, et l'élaboration d'explications relativement complexes sur une situation nouvelle.

Nous avons choisi de manipuler la complexité des tâches sur 2 axes, à savoir (a) la complexité intrinsèque de la conversation (échange banale vs. conversation complexe), et (b) la contrainte liée au maintien du téléphone dans la main (mains occupées vs. mains libres). En revanche, nous avons dû renoncer pour l'instant à manipuler séparément la difficulté motrice entraînée par le besoin de marquer le numéro du correspondant (faire vs. recevoir un appel) dû à la très forte contamination des tracés EEG par des artefacts d'origine musculaire, dès que le sujet était obligé de marquer un numéro sur le téléphone.

B3. Les enregistrements

L'activité électrique cérébrale était enregistrée à l'aide d'un casque souple contenant les capteurs. À la différence des systèmes d'EEG classiques, ce casque (ElectroCap®) était fixé par des bandes élastiques latérales à une sangle pectorale, et non pas au menton, laissant ainsi une totale liberté aux sujets pour parler au téléphone. Par ailleurs, les électrodes n'étaient pas collées sur le scalp, mais simplement appuyées et tenues en place par la maille élastique du casque.

Pendant la réalisation des différents tests, la présentation de chaque stimulus envoyait simultanément un signal numérique vers l'enregistreur, ce qui nous permettait ultérieurement de repérer sur le tracé EEG le moment exact de stimulation. Un signal similaire était recueilli à l'instant où la réponse motrice du sujet était produite. Nous avons ensuite procédé à l'analyse des réponses en fonction du type de stimulus et de la condition expérimentale. Les résultats ont été analysés en termes de latences, surface et amplitudes des composantes de la réponse cérébrale à l'aide de systèmes Neuroscan® et Orgil®. Le traitement statistique des résultats a été ensuite réalisé au moyen du paquet de logiciels "StatView" pour ordinateur Macintosh.

C. DESCRIPTION DES MANIPULATIONS REALISEES ET DES RESULTATS ACQUIS

Au cours de cette période nous avons recueilli différents types de données comportementales et électrophysiologiques dans différentes conditions d'utilisation du téléphone. Une première série d'expériences concernant l'effet de l'utilisation du téléphone en condition de détection de cible contre distracteur a pu être réalisée avec succès, traitée statistiquement et interprétée. Avec l'accord de la Fondation MAIF, ces résultats ont été diffusés auprès de la communauté scientifique et des médias, et sont en cours de publication dans une Revue scientifique internationale (voir plus bas). Une deuxième série d'enregistrements ont donné lieu à des résultats encore en cours de traitement, qui ne semblent pas différer de ceux obtenus lors de la première manipulation expérimentale.

Dans ce qui suit, nous présentons *in extenso* les données obtenues dans notre expérience principale réalisée au cours de ce projet :

"Expérience concernant l'effet de l'utilisation du téléphone portable sur les temps de réaction motrice (TR) et sur les potentiels cérébraux cognitifs (PEC) au cours d'une tâche de détection visuelle de cibles contre distracteurs"

Pour cette première expérience, elle-même composée de trois sous-unités, nous avons utilisé les potentiels évoqués afin d'étudier les mécanismes sous-jacents aux perturbations des temps de réaction déjà décrites (Alm et Nilsson 1995) au cours de l'utilisation des téléphones portables. Les réponses cérébrales ont été enregistrées au cours d'une tâche de détection visuelle de cibles contre distracteurs (tâche n° 1 de la section B1) réalisée de façon concomitante à une conversation téléphonique. Nous avons étudié l'effet de la conversation téléphonique sur (a) les délais d'identification du stimulus cible, (b) le niveau d'attention alloué à la tâche sensori-motrice et (c) les mécanismes cérébraux de préparation à la réponse. Les délais de détection furent estimés par les temps de latence des réponses N2 (ou N200) et P3 (ou P300) des potentiels évoqués, qui représentent une mesure bien établie du temps nécessaire à l'évaluation du stimulus (Kutas et al. 1977, Donchin 1979, Picton 1992). L'amplitude de la réponse "P3" covarie à la fois avec le niveau de ressources attentionnelles dédiées au stimulus cible (Wickens et al. 1984, Kok 1997, Garcia-Larrea et al. 1998) et avec la réaction d'alerte ("arousal") évoquée par le stimulus lui-même (Bahramali et al. 1997, Kok 1997, Bastuji et Garcia-Larrea 1999) et fut utilisée en conséquence pour évaluer ces variables. Enfin, le "potentiel de préparation motrice" ("Bereitschaftspotential" ou "Readiness potential", Kornhuber et al. 1965, Starr et al. 1995) a servi comme marqueur des phénomènes de pré-activation de préparation à la réponse.

C1. Description de l'expérience

Douze sujets ont participé à l'étude, mais seulement dix d'entre eux ont eu des enregistrements de qualité suffisante pour être exploités fidèlement. Tous les sujets étaient libres d'anomalie neurologique et avaient vision et audition normales ou bien corrigées.

Les stimuli étaient un soleil jaune ("cible") et un cercle rouge (distracteurs) sous-tendant 1 degré d'angle chacun et présentés contre le fond noir d'un écran d'ordinateur. Chaque stimulus avait une durée de 200 ms, avec intervalle inter-stimulus de 1200 ms. Les cercles rouges apparaissaient avec une probabilité de 80% et étaient remplacées de façon aléatoire par la stimulation cible avec probabilité de 20%. Le sujet devait répondre à l'apparition du stimulus cible en appuyant sur le bouton d'une souris d'ordinateur avec la main dominante. La vitesse

et la précision de la réponse étaient encouragées à niveau égal. Chaque séance comportait 180 à 200 stimulations au total.

La tâche de détection était présentée dans trois conditions expérimentales. Dans la *condition n° 1* (contrôle) elle était réalisée sans aucune autre tâche concomitante. Dans la *condition n° 2* ('mains libres') le sujet devait maintenir en même temps une conversation téléphonique en mode 'mains libres'. Enfin, dans la *condition n° 3* (téléphone en main) la conversation concomitante au test de détection-réaction était réalisée à l'aide d'un téléphone porté dans la main non-dominante. Étaient utilisées pour cela les conversations décrites dans la section B2, enregistrées préalablement pour éviter toute contamination électromagnétique en provenance du téléphone. Chaque sujet entendait par conséquent la même voix et répondait aux mêmes questions que les autres. L'ordre des différentes conditions était contrebalancé parmi les sujets, de même que les deux types de conversation l'étaient entre les conditions, pour éviter tout biais lié à l'ordre de présentation ou à la fatigue.

Chaque participant initiait la tâche de détection 5 - 10 secondes avant la réception de l'appel téléphonique. Lors de celui-ci, les instructions étaient, soit de prendre le téléphone avec la main non occupée par la réponse motrice, couper la sonnerie en acceptant l'appel et suivre la conversation sans arrêter la tâche (condition 'téléphone en main'), soit appuyer sur un bouton situé à côté du téléphone pour couper la sonnerie et faire démarrer la conversation à travers d'un haut-parleur (condition 'mains libres').

C2. Enregistrements et analyse des données

Sur le plan comportemental nous avons enregistré les temps de réaction motrice (TR) aux cibles visuelles, ainsi que le nombre d'erreurs (omissions et fausses alarmes) pour chaque sujet et condition. L'électroencéphalogramme (EEG) était enregistré de façon continue à l'aide d'électrodes en position frontal (Fz) central (Cz) et pariétal (Pz), montées dans un casque élastique (Cfr. section B3), et référencées au nez. Le signal était amplifié 20.000 fois avec une bande passante allant de 0.1 à 30 Hz (-3 dB), et échantillonné à 500 Hz à l'aide d'un système d'amplification Synamps®. L'électro-oculogramme était surveillé à l'aide d'une électrode attachée à la marge supéro-externe de l'oeil gauche, et référencée également au nez. Une dernière électrode positionnée entre Fz et Fpz servait de 'terre'. L'impédance à l'interface entre chaque électrode et la peau était maintenue au dessous de 5 K Ω .

Après la réalisation de l'ensemble de tests, le tracé EEG était segmenté en périodes de 2 secondes centrées sur la présentation du stimulus, ce qui nous a permis d'étudier simultanément la période précédant (- 1 sec) et suivant (+ 1 sec) la stimulation cible, selon une procédure voisine de celle décrite par Starr et al. (1995). Les segments étaient ensuite moyennés pour chaque sujet et condition en fonction du type de stimulus (cible ou distracteur), après inspection visuelle et élimination des périodes contaminées par des mouvements oculaires excessifs. Tout segment contenant des modifications du potentiel électrique supérieures à $\pm 70 \mu\text{V}$ était également exclu du moyennage.

Pour chaque électrode ont été analysées : (a) les latences de culmination des composantes N2 et P3, (b) la latence finale du P3 (où la composante rejoignait la ligne de base), (c) l'amplitude de N2 et P3 et (d) l'aire sous l'onde lente négative qui précédait le stimulus. Pour toutes les mesures de latence, le point de référence était le début de la stimulation visuelle. L'aire sous la négativité pré-stimulation était mesurée à l'intérieur d'une fenêtre s'étendant entre 600 ms pré-stimulus et 50 ms post-stimulus. Pour la mesure des amplitudes de N3 et P3 un filtre digital passe-haut avec coupure à 1 Hz (6 dB, -24 dB/oct) fut appliqué au préalable, afin d'éliminer la déviation de la ligne de base entraînée par la négativité précédant la stimulation (Starr et al. 1995); les amplitudes ont été ensuite mesurées par rapport à la période de 400 ms précédant le stimulus (voir Figure 1). Les fenêtres de mesure pour le N2 et P3 furent déterminées *a posteriori* à partir des grandes moyennes de l'ensemble des sujets, et fixées à 200-300 ms pour N2 et and 300-500 ms pour P3. En cas de pics multiples, les latences furent calculées à l'intersection des branches ascendante et descendante de la composante (Goodin et al. 1994).

Les données comportementales et électrophysiologiques ont été soumises à des analyses de variance (ANOVA) pour mesures répétées, avec les facteurs Condition expérimentale (3 niveaux) et Electrode (3 niveaux) comme possibles sources de variance des données électrophysiologiques, et Condition uniquement pour les données comportementales. Quand il était nécessaire, la correction des degrés de libertés par l'épsilon de Greenhouse-Geisser (G-G) fut également appliquée. Les effets significatifs à l'ANOVA étaient soumis ensuite à des analyses 'post-hoc' par tests de Student appariés.

C3. Résultats comportementaux et électrophysiologiques

C.3.1. Données comportementales

Les temps de réaction moyens aux cibles dans la condition de contrôle (sans téléphone) étaient de 348 ± 80 ms. Ils sont passés à 409 ± 110 ms dans la condition 'mains libres' et à 418 ± 110 ms dans celle avec le téléphone entre les mains. La différence était hautement significative sur le plan statistique ($F(2,9)=12.79$, $\epsilon=.9$, $p<.001$). Les réactions motrices étaient significativement plus lentes dans les deux situations impliquant le téléphone que dans la condition de contrôle (Student apparié, $t(9)$, respectivement -4.48 , $p=0.001$ et -3.98 , $p=0.003$), alors que la différence entre les deux situations avec téléphone n'atteignait pas la signification statistique.

C.3.2. Données électrophysiologiques

a) La condition expérimentale avait un effet significatif sur la négativité précédant la présentation du stimulus ($F(2,9)=4.01$, $\epsilon=0.93$, $p<.04$), dont l'aire diminuait progressivement à partir de valeurs maximales dans la condition de contrôle, intermédiaires dans la condition 'mains libres' et minimales pendant celle avec le téléphone entre les mains. Le niveau d'atténuation n'atteignait pas les limites de la signification en situation mains libres ($t(9)=-1.78$, n.s.) mais devenait hautement significatif en situation de manipulation du téléphone ($t(9)=-3.13$, $p<.01$). Dans cette dernière situation, la négativité pré-stimulus, témoignant de la préparation motrice, était pratiquement absente comme le montre la Figure 1 (partie de gauche).

b) L'amplitude du potentiel P3 était également modifiée par l'usage du téléphone ($F(2,9)=11.09$, $\epsilon=.79$, $p=.003$). L'amplitude de cette réponse est tombait en effet d'un niveau de 17.1 ± 5 μV dans la condition sans téléphone à 10.2 ± 5.2 μV dans la situation 'téléphone mains libres', pour rester relativement stable entre cette dernière et la condition avec le téléphone entre les mains (9.1 ± 3.4 μV , voir la Figure 1, partie de droite). Les tests de Student post-hoc t-tests révélèrent des différences très significatives du niveau d'amplitude dans les deux conditions téléphoniques par rapport au contrôle (respectivement $t(9)=3.36$, $p=.008$ et $t(9)=4.01$, $p=.003$), mais pas de différence significative entre les deux ($t(9)=-1.03$, $p=.33$ n.s).

c) Enfin, les temps de latence du N2 et du P3 n'ont pas montré de différence significative entre les conditions (respectivement $F(2,9)=1.79$, n.s., and $F(2,9)=.54$, n.s.). Le seul effet significatif fut observé dans la latence de finalisation du potentiel P3 ($F(2,9)=10.3$, $\epsilon=.99$, $p<.001$), qui augmentait dans les deux conditions expérimentales en comparaison à celle sans téléphone ($p<.05$), sans différence entre elles.

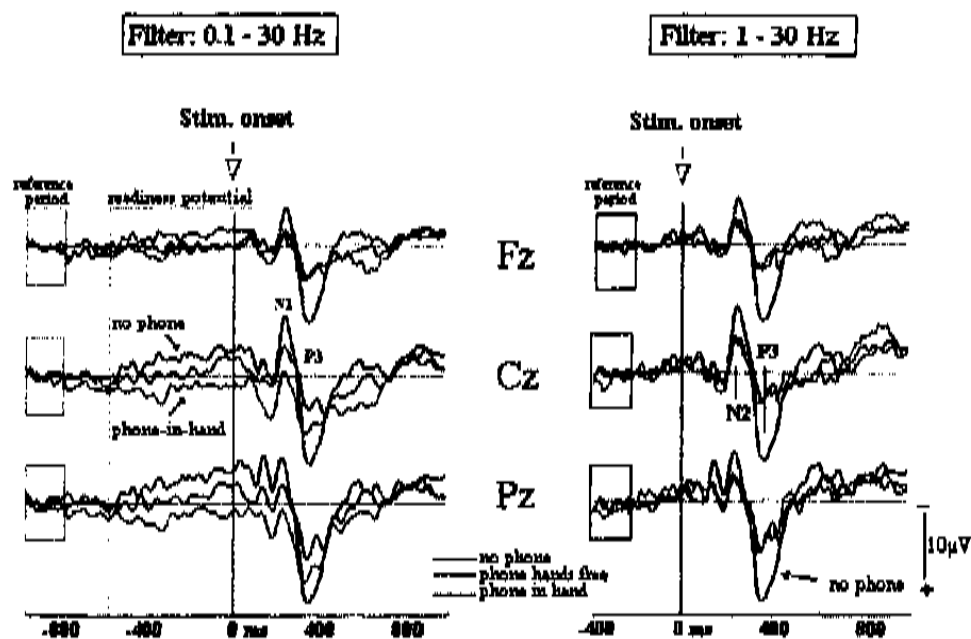


Figure 1

Potentiels de préparation motrice (partie de gauche) et réponses N2-P3 en situation de contrôle (sans téléphone), avec le téléphone en utilisation "mains libres" (courbes bleues) et avec le téléphone porté dans la main non dominante (tracés rouges). Voir explication dans le texte, et dans l'article joint en annexe.

C.4. Discussion et Interprétation des résultats

Le temps de réaction motrice à un stimulus sensoriel est une fonction complexe de plusieurs processus. Ceux-ci incluent au moins 3 types :

(a) les processus d'anticipation de préparation motrice, qui accélèrent le TR en permettant accessibilité plus rapide aux programmes moteurs (Brunia 1993).

(b) l'activation phasique (arousal) induite par le stimulus, qui améliore la rapidité de la réponse par action sur les étapes d'analyse du stimulus et de sélection de la réponse (Hackley et Valle-Inclán, 1998).

(c) la rapidité des processus d'évaluation du stimulus lui-même, car les programmes moteurs de réponse ne peuvent être lancés avant que le stimulus n'ait été minimement analysé.

Les données obtenues au cours de cette étude indiquent que l'utilisation du téléphone concomitante à l'exécution d'une tâche sensori-motrice simple affecte de façon significative au moins deux de ces trois types de processus. Les enregistrements ont montré deux niveaux principaux d'altération : d'une part l'atténuation des ondes lentes négatives précédant le stimulus (ondes de préparation à l'action), et d'autre part l'atténuation des potentiels N2 et P3 qui suivent la présentation du stimulus. Ces deux effets contribuent très probablement à la dégradation des performances (retard des temps de réaction) également observée au cours du test. Cependant, les dynamiques des deux effets se différenciaient clairement (Fig. 2) indiquant que leurs mécanismes d'action sur les performances sont probablement différents.

C.4.1 Effets sur la préparation motrice

Les ondes négatives, très lentes, qui précèdent l'arrivée d'un stimulus 'impératif' (c.à.d. exigeant une réponse immédiate) révèlent des processus d'anticipation, d'orientation et de préparation à la réponse (Walter et al. 1964, Kornhuber et al. 1965). Dans le cas du paradigme utilisé dans cette étude, qui dérive de celui utilisé par Starr et al. (1995) dans la modalité auditive, ces ondes négatives semblent témoigner très majoritairement des phénomènes de préparation motrice. En effet, Starr et al. (1995) ont démontré que ces ondes lentes disparaissaient pratiquement dès que la réponse motrice était remplacée par un comptage mental des stimuli, faisant ainsi la preuve de leur dépendance de l'action motrice. Ces ondes lentes correspondent donc à des potentiels dits 'de préparation motrice' ("readiness potentials") ; leur atténuation dans les conditions 2 and 3 de notre étude suggère par conséquent que le niveau de préparation à la réponse était significativement dégradée par l'utilisation concomitante du téléphone. Outre cela, il est à noter que l'atténuation de ces potentiels était différente dans les deux conditions avec téléphone : assez modérée et non significative en cas de situation 'mains libres', elle devenait extrêmement importante dès que le téléphone devait être manipulé, et ce même si la manipulation était très simple et

n'impliquait pas la formation d'un numéro par l'utilisateur ! Cette sensibilité extrême des phénomènes de préparation motrice à la manipulation du téléphone suggère que les systèmes 'mains libres' pourraient préserver, du moins en partie, certains mécanismes de contrôle moteur qui disparaissent complètement au cours de l'utilisation 'téléphone en main'.

C.4.2. Effets sur les capacités d'attention et sur l'activation évoquée par le stimulus

Le deuxième effet de l'utilisation du téléphone fut une atténuation du potentiel P3 (P300) aux cibles visuelles. Ceci est un effet classiquement observé en situation de 'double tâche', où il est connu que l'amplitude du P3 à une classe de stimulus diminue à mesure que les demandes de la tâche concurrente augmentent (Isreal et al. 1980, Wickens et al. 1984, Ragazzoni et al. 1996, Schubert et al. 1998, Garcia-Larrea et al. 1998). L'amplitude de la réponse P3 est ainsi reconnue comme un index de la capacité du cerveau à traiter des informations sensorielles nécessitant une réponse (Wickens et al. 1984, Picton 1992, Kok 1997). Étant donné que l'amplitude du P3 est également corrélée à l'activation transitoire évoquée par le stimulus ("stimulus-related arousal", Bahramali et al. 1997, Bastuji and Garcia-Larrea 1999), la chute d'amplitude de ce potentiel peut être vue comme le reflet direct d'une diminution d'activation en réponse au stimulus lorsque l'attention est partagée entre plusieurs demandes. Nos résultats indiquent donc que aussi bien l'allocation de ressources aux stimuli externes que l'activation en réponse à leur arrivée diminuaient significativement au cours de l'utilisation du téléphone. De plus, *cette atténuation était similaire en condition d'utilisation 'mains libres' et 'téléphone en main'*, ce qui signifie que la diminution des capacités à traiter les événements externes était liée à la surcharge attentionnelle due à la conversation téléphonique elle-même, plutôt qu'à la manipulation du téléphone, et de ce fait ne sera améliorée par l'utilisation de systèmes 'mains libres'. Des conclusions similaires ont été obtenues très récemment au cours d'une étude "de terrain", dans laquelle les temps de freinage et de collision étaient affectés à un degré comparable par des tâches qui impliquaient la manipulation du téléphone, et par d'autres à caractère non-visuel, mais impliquant des demandes attentionnelles comparables (Lamble et al. 1999).

C.4.3. Effets sur les temps d'identification des cibles visuelles

Contrastant avec les résultats discutés plus haut, le temps nécessaire pour identifier les cibles visuelles, indexé par la latence des ondes N2 & P3, n'était pas altéré par l'usage

concomitant du téléphone. Le temps de survenue du complexe N2-P3 reflète le délai d'identification / encodage du stimulus (Kutas et al. 1977, Ritter et al. 1979, Picton 1992), alors que les TR fournissent une estimation complexe, à la fois du temps d'évaluation du stimulus, du transfert sensori-moteur et du temps de préparation et exécution de la réponse (Donchin 1979, Hackley and Valle-Inclán 1998). Nos résultats suggèrent que le retard observé des TR, bien que lié à une diminution des capacités attentionnelles, n'était pas dû principalement à un ralentissement dans l'identification de la cible. Il est intéressant de noter que cette dissociation entre temps d'identification préservé mais TR ralenti est habituel dans d'autres situations en 'double tâche' (voir par exemple Sirevaag et al. 1989, Ragazzoni et al. 1996; Garcia-Larrea and Cézanne-Bert 1998, Schubert et al. 1998), ce qui suggère que la phase premièrement affectée par la duplication des demandes attentionnelles ne correspond pas à l'évaluation-perception des stimuli, mais plutôt au transfert sensori-moteur, c.à.d. le stade au cours duquel le résultat de la discrimination sensorielle est utilisé pour lancer un programme moteur. Cette résistance du temps d'évaluation sensorielle à la contamination par double tâche pourrait être cependant liée à l'extrême simplicité de la discrimination sensorielle exigée dans la plupart des expériences en laboratoire. Il est vraisemblable que les temps de détection pourraient se voir également allongés en cas de demandes plus complexes, ce qui est actuellement en cours d'investigation dans le laboratoire.

C.5. Conclusion

Cet ensemble de résultats comportementaux et neurophysiologiques nous autorisent à postuler la participation de, au moins, *deux mécanismes différents* à la dégradation des performances aux tâches de réaction simple lors du maintien concomitant d'une conversation téléphonique. Le premier effet correspond à une diminution de l'attention aux entrées sensorielles, ayant comme corollaire une baisse de l'activation induite par le stimulus. Cet effet est caractéristique des situations en 'double tâche' ; il dépend de la surcharge cognitive liée à l'ajout d'une conversation à la tâche primaire, et reste indépendante de la modalité d'usage du téléphone (entre les mains ou mains libres). Le deuxième facteur est une affaiblissement de la préparation à répondre avec un acte moteur. Contrairement au premier, ce facteur est apparu spécifiquement lié à la manipulation du téléphone.

C.6. Résultats complémentaires

Une expérience complémentaire a été réalisée en utilisant des stimuli latéralisés de 5 degrés à droite et à gauche de la ligne médiane, et pouvant ou non être indicés par un stimulus

avertisseur (paradigme n° 3). L'objectif de cette étude est d'approfondir, par la difficulté croissante de l'identification de la cible, l'influence respective des phénomènes attentionnels, d'identification perceptive et de préparation motrice dans les modifications de performance. De plus, cette étude doit permettre la comparaison des effets liés au traitement des cibles visuelles présentées dans le champ visuel *périphérique*, par rapport aux stimulations de l'expérience précédente qui étaient toutes présentées dans le champ central, directement face au sujet. Sur le plan qualitatif, les résultats confirment ceux discutés précédemment, à savoir la perte de temps de réaction, l'atténuation de la réponse P300 et la diminution des potentiels de préparation motrice en cas d'utilisation du téléphone. De plus, à ces effets semble d'ajouter une plus grande perte de vitesse en cas de cible incorrectement indiquée (c'est à dire précédée par un avertissement survenant du côté opposé du champ visuel). Ces résultats n'ont pas été analysés sur le plan quantitatif.

D) Valorisation des résultats

D.1. Valorisation scientifique.

Avec l'accord de la Fondation, l'essentiel des résultats discutés ci-dessus a été présenté lors de différentes réunions scientifiques nationales et internationales, pour en assurer sa diffusion auprès de collègues travaillant dans le même domaine. Des résultats ont été ainsi présentés au cours d'une conférence sur l'étude électrophysiologique des fonctions frontales donnée à l'*Institut de Sciences Cognitives de Lyon* (Pr Marc Jeannerod) en novembre 1999, ainsi qu'à l'occasion de la conférence sur le même thème, donnée à Milan en Octobre 2000 au cours du *Colloquium on Frontal Lobe Epilepsy* organisé par la Fondation Mariani. Cette dernière présentation fera l'objet d'un chapitre de livre à paraître courant l'an 2001. Une partie des résultats fut également présentée sous forme d'affiche au *Congrès International de Neurophysiologie clinique* tenu à Prague en septembre 1999, et publiée avec les actes du congrès dans la Revue *Clinical Neurophysiology*. Des données préliminaires, essentiellement comportementales, avaient également été communiquées au *Congrès International de Psychophysiology* de Taormina. Les résultats ont fait également l'objet d'un rapport plus général sur les potentiels évoqués et leur possible utilisation en recherche sur la sécurité des transports, présenté avec l'accord de la Fondation dans le cadre d'un projet de collaboration avec l'*Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité* (INRETS). Enfin, une publication détaillée, en anglais, reprenant l'ensemble des expériences décrites ci-dessus

a été envoyée au *Journal of Psychophysiology*, et acceptée pour publication récemment (copie de la publication fournie en Annexe).

La liste suivante reprend l'ensemble de communications et de publications scientifiques en rapport avec le Projet.

Communications

- Amenedo E., Perchet C, Perrin F, Garcia-Larrea L. Behavioral and neurophysiological effects of mobile phone interference. *9th World Congress on Psychophysiology, Taormina (Sicile), 14-19 septembre 1999.*
- Garcia-Larrea L. L'Étude électrophysiologique des fonctions exécutives frontales chez l'Homme. *Conférence à l'Institut des Sciences Cognitives de Lyon, 23 novembre 1999.*
- Garcia-Larrea L. La technique des potentiels évoqués comme indicateur de l'activité cognitive. Possibilités d'application dans le domaine des "systèmes embarqués". *Réunion des développeurs et utilisateurs des simulateurs INRETS (CUISS N° 34), 7 mars 2000.*
- Garcia-Larrea L. Cognitive evoked potentials in the study of frontal lobe maturation. *6th International Colloquium on Childhood Epilepsy, Milan, 25-29 octobre 2000.*

Publications

- Garcia-Larrea L., Perchet C, Perrin F, Amenedo E.. Mobile phone conversations during simple reaction tasks: ERP evidence of interference with attention and motor readiness. *Clinical Neurophysiology* 1999, 110 (Suppl. 1), pp. S222.
- Garcia-Larrea L. Cognitive evoked potentials in the study of frontal lobe executive functions. (In: *Marjani Foundation Paediatric Neurology Series "Frontal seizures and epilepsies in children"*), John Libbey, London, 2001, *in press.*
- Garcia-Larrea L, Perchet C, Perrin F, Amenedo E. Interference of mobile phone conversations with attention and motor readiness. *Journal of Psychophysiology* 2001, *in press.*

D.2. Valorisation sociale et diffusion auprès des moyens de communication

Notre travail expérimental et une partie de nos résultats a fortement intéressé les 'médias' au cours du premier semestre de cette année. Après consultation avec la Fondation MAIF, un entretien a été accordé à une journaliste du quotidien *Le Parisien* en février 2000. La publication des extraits de notre conversation dans ce journal et dans ses filiales en Province (14 mars 2000) a suscité une demande progressive et croissante d'entretiens dans différentes radios nationales et régionales, ainsi que dans la télévision. Une partie de ces sollicitations ont été honorées, sous forme d'entretiens de nature très diverse diffusés sur Europe 1, Europe 2, Autoroute Info, Radio France-Isère et Radio France-Savoie. Des courts reportages ont été également diffusés sur les Journaux télévisés de France 2 et de M6 le mois de mars. Dans chacun de ces entretiens mention explicite a été faite du partenariat avec la Fondation MAIF ; malheureusement, cette notion a été éliminée au cours du montage dans au moins deux des reportages (M6 et Europe 1) que j'ai pu visionner ou écouter dans leur forme finale. Je considère cependant cet aspect de la diffusion comme assez positif, en raison du manque habituel de 'propagation' de ce type de données auprès du grand public.

Une 'deuxième vague' de diffusion grand-public s'est déroulée entre septembre et novembre 2000, notamment avec la parution dans le *Reader's Digest*, version française, de l'article de Carole Fossati "*Téléphoner ou conduire, il faut choisir*" (n° d'octobre 2000) dans lequel l'auteur se faisait écho entre autres des nos résultats préalablement diffusés. En parallèle, le Journal des Hospices Civils de Lyon (septembre 2000) a publié un entretien où étaient exposées les grandes lignes du projet et les principaux résultats acquis, avec mention explicite du partenariat avec la Fondation MAIF (copie joint en annexe). Enfin, France 2 Télévision a réalisé un reportage conjoint à l'INRETS, où nos résultats étaient mis en parallèle avec ceux obtenus par des chercheurs de ce Centre, et notamment par M. Georges Pachiaudi (diffusé le 30 juin 2000).

La liste de diffusions "grand public" est présentée ci-dessus : Nous joignons en Annexe des copies des documents écrits dont nous possédons un exemplaire.

Le Parisien, 14 mars 2000

Europe 1, 15 mars 2000

JT France-2, mars 2000

JT M6, mars 2000

Europe 2, Radio France-Isère, Autoroute Info (mai-juillet 2000)

Canal-Science (câble, reportage filmé, semaine du 23 au 29 octobre 2000)

Reportage JT France 2, 30 juin 2000

Tonic HCL, septembre 2000

Reader's Digest, octobre 2000

E. Perspectives de recherche sur ce domaine

La collaboration scientifique entamée avec le Département de Psychobiologie de l'Université de Saint-Jacques de Compostelle (Dr Elena Amenedo, Pr Fernando Díaz) devrait se poursuivre avec une ligne de recherche sur les phénomènes attentionnels. Cette collaboration a donné lieu à une demande de financement spécifique sur l'effet des téléphones portables au Gouvernement Régional de Galice (Espagne), qui à l'heure actuelle n'a pas encore abouti.

Au cours de la réalisation de ce projet nous avons été contactés par l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité) à propos de la possibilité d'appliquer les mesures électrophysiologiques décrites ci-dessous à l'étude des effets physiologiques et psychologiques des "systèmes embarqués" (téléphones portables, mais également ordinateurs de bord, systèmes d'aide à la conduite et autres engins portés à bord d'un véhicule). Après une série de contacts et de discussions, nous avons décidé d'entamer une collaboration, et d'envisager l'obtention combinée de mesures comportementales et électrophysiologiques, si possible sur simulateur de conduite ou en situation de conduite réelle au cours des prochains années

Références

- Alm H. and Nilsson L. Changes in drivers behaviour as a function of handsfree mobile telephones. A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 1994, 26: 441-451.
- Alm, H. & Nilsson, L. The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. *Accident Analysis and Prevention*, 1995, 27: 707-715.
- Amenedo E., Perchet C, Perrin F, Garcia-Larrea L. Behavioral and neurophysiological effects of mobile phone interference. *9th World Congress on Psychophysiology, Taormina (Sicile), 14-19 septembre 1999.*
- Anderson V and Joyner KH. *Bioelectromagnetics*, 1995, 16: 60-69.
- Bahramali, H., Gordon, E., Lim, C.L., Li, W., Lagopoulos, J., Leslic, L., Rennie, C., Meares, R.A. (1997). Evoked related potentials associated with and without an orienting reflex. *Neuroreport* 8: 2665-2669.

- Bastuji H, Garcia-Larrea L, Franc C, Mauguière F. Brain processing of stimulus deviance during paradoxical and slow wave sleep. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 1995, 12 : 155-167.
- Bastuji, H, & Garcia-Larrea, L. EPs as a tool for the study of human sleep. *Sleep Med. Reviews* 1999, 3: 23-45.
- Briem V and Hedman LR. Behavioral effects of mobile telephone use during simulated driving. *Ergonomics* 1995, 12: 2536-2562.
- Brown ID, Tickner AH and Simmons DC. Interference between concurrent tasks of driving and telephoning. *J. Applied Psychol.* 1969, 53: 419-424.
- Brunia, C.H.M. Waiting in readiness: gating in attention and motor preparation. *Psychophysiology* 1993, 30: 327-339.
- Burke PA, Duncan J and Nimmo SI. A general factor involved in dual task performance decrement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 1996, 49A 525-545.
- California Highway Patrol. A special report to the legislature on the findings of mobile telephone safety study. Department of the California Highway Patrol, *Senate Concurrent Resolution N° 8*, Los Angeles, 1987.
- Donchin, E. Event-related potentials: a tool in the study of human information processing. In: H. Begleiter (Ed), *Evoked Potentials and Behavior*, Plenum, New York, 1979, pp. 13-88
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998, 9: 3229-3232.
- Freude G and Ullsperger P. Do microwaves emitted by cellular phones influence the bioelectrical brain activity? *J. Psychophysiol.* 2000, 14, 58 (abstract)
- Garcia-Larrea L., Broussolle E. , Gravejat MF, Chazot G and Mauguière F. Brain responses to detection of right or left somatic targets are symmetrical in unilateral Parkinson's disease : a case against the concept of 'Parkinsonian Neglect'. *Cortex*, 1996, 32: 679-691.
- Garcia-Larrea, L. & Cézanne-Bert, G. P3, Slow Wave and working memory load. A study on the functional correlates of Slow Wave activity. *Electroencephal. clin. Neurophysiol.* 1998, 108: 260-273.
- Garcia-Larrea L., Perchet C, Perrin F, Amenedo E.. Mobile phone conversations during simple reaction tasks: ERP evidence of interference with attention and motor readiness. *Clinical Neurophysiology* 1999, 110 (Suppl. 1), pp. S222.
- Garcia-Larrea L. La technique des potentiels évoqués comme indicateur de l'activité cognitive. Possibilités d'application dans le domaine des "systèmes embarqués". *Réunion des développeurs et utilisateurs des simulateurs INRETS (CUISS N° 34)*, 7 mars 2000.
- Gil R, Neau J-Ph, Toullat G, Rivasseau-Jonveaux Th and Lefèvre JP. Maladie de Parkinson et potentiels évoqués cognitifs. *Revue Neurologique* ; 145: 201-207, 1989.

- Goodin DS, Squires KS and Starr A. Variations in early and late event-related components of the auditory evoked potential with task difficulty. *Electroencephal. clin. Neurophysiol.*, 1983, 55, 680-686.
- Goodin, D., Desmedt, J.E., Maurer, K. & Nuwer, M. IFCN recommended standards for long-latency auditory event-related potentials. Report of a IFCN committee. *Electroencephal. clin. Neurophysiol.* 1994, 91: 18-20.
- Goodin DS and Aminoff M. Electrophysiological differences between subtypes of dementia. *Brain*, 1986, 109, 1103-1113
- Hackley, S.A. & Valle-Inclán, F. Automatic alerting does not speed late motoric processes in a reaction-time task. *Nature* 1998, 391: 786-788.
- Isreal, JB, Chesney GB, Wickens CD and Donchin E. P300 and tracking difficulty : evidence for multiple resources in dual-task performance. *Psychophysiology*, 1980, 17: 259-273.
- Klein, RM and Taylor, TL. Categories of cognitive inhibition with reference to attention. In: Dagenbach D and Carr TH, eds. *Inhibitory Processes in Attention, Memory and Language*. San Diego: Academic Press, 1994: 113-150.
- Kok, A. Event-related potential (ERP) reflections of mental resources : a review and a synthesis. *Biological Psychology*, 1997, 45: 19-56.
- Kornhuber, H.H. & Deecke, L. Hirnpotentialänderungen bei Willkbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflug. Arch. Ges. Physiol.* 1965, 284: 1-17.
- Kutas M, McCarthy G, Donchin E. Augmenting mental chronometry : the P3 as a measure of stimulus evaluation time. *Science* , 1977: 792-795, 1977.
- Linde T and Mild KH. *Bioelectromagnetics*, 1997, 18: 184-186.
- Pashler H. Graded capacity-sharing in dual task interference? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1994a, 20: 330-342.
- Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychol. Bull.*, 1994b, 116: 220-244.
- Pfefferbaum A, Wenegrat BG, Ford, JM, Roth, WT and Kopell, BS. Clinical application of the event-related potentials. II. Dementia, depression and schizophrenia. *Electroencephal. clin. Neurophysiol.* 1984, 59: 104-124.
- Picton TW. The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology* 1992, 9: 456-479.
- Polich J, Ehlers CL, Otis S, Mandell AJ and Bloom FE. P300 latency reflects the degree of cognitive decline in dementing illness. *Electroencephal. clin. Neurophysiol.* 1986, 63:138-144.
- Polich J. P300 in clinical applications: meaning, method and measurement. In: Niedermeyer and Lopes da Silva (Eds.) : *Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields*. Baltimore: William & Wilkins, 1993, pp. 1005-1018.

- Preece, A.W.; Iwi, G.; DaviesSmith, A.; Wesnes, K.; Butler, S.; Lim, E.; Varey, A. (1999). Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int. J. Rad. Biol.* 75, 447-456.
- Ragazzoni, A., Mata, S., Grippo, A. & Pinto, F. (1996). Dual task performance: effects of increasing difficulty on auditory ERPs and RTs. In: *Functional Neuroscience* (EEG Suppl. 46), C. Barber, G. Celesia, C. Comi and F. Mauguère, eds., Elsevier, Amsterdam, pp 253-260
- Ritter W., Simson, R., Vaughan, H.G. & Friedman, D.A. (1979). A brain event related to the making of sensory discrimination. *Science*, 203: 1358-1361.
- Robinson MP, Flintoft ID and Marvin AC. *J Med Eng Technology*, 1997, 21: 141-146.
- Schubert, M., Johannes, S., Koch, M., Wieringa, B.M., Dengler, R., Munte, T.F. (1998). Differential effects of two motor tasks on ERPs in an auditory classification task: evidence of shared cognitive resources. *Neuroscience Research* 30, 125-134.
- Sirevaag EJ, Kramer AF, Coles MG, Donchin E. (1989). Resource reciprocity : an event related brain potentials analysis. *Acta Psychol.* 70: 77-97
- Starr, A., Sandroni, P. & Michalewski, H.J. (1995). Readiness to respond in a target detection task: Pre- and post-stimulus event-related potentials in normal subjects. *Electroencephal. clin Neurophysiol.* 96: 76-92.
- Walter , W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W.C., Winter, A.L. Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature* 1964, 203: 380-384.
- Wickens, C.D., Kramer, A.F. & Donchin, E. The event-related potential as an index of the processing demands of a complex target acquisition task. *Ann NY Acad Sci* 1984, 425: 295-299.