

# Fonctions cognitives et téléphone mobile

Date de la mise à jour : 15 mars 2010

## L'essentiel...

Les fonctions cognitives sont des fonctions intellectuelles qui aboutissent à la connaissance. Dans le domaine des hyperfréquences, les principales fonctions cognitives étudiées sont la mémoire et l'attention ainsi que le temps de réaction associé à ces deux fonctions. Les tests et batteries de tests, permettant de les apprécier, sont nombreux.

La plupart des études réalisées chez l'homme sont des **études expérimentales** évaluant l'effet de l'exposition à des radiofréquences sur les **fonctions cognitives à court terme**.

Au début des années 2000, plusieurs études ont évoqué une amélioration de certaines fonctions cognitives. L'exposition aux radiofréquences émises par les téléphones mobiles faciliterait l'attention et serait responsable d'une diminution du temps de réaction aux tests et par conséquent d'une augmentation de la rapidité. L'hypothèse d'un effet thermique a été soulevée.

Néanmoins la méthodologie d'un certain nombre de ces études ayant été discutée et consolidée, les études les plus récentes ne mettent pas en évidence d'association entre l'exposition aux radiofréquences et les fonctions cognitives, dans un sens ni dans l'autre.

## Généralités sur les fonctions cognitives

### ■ Définition

Les **fonctions cognitives** sont des fonctions intellectuelles qui aboutissent à la connaissance. Elles sont divisées en 4 classes principales :

- **Les fonctions réceptives** : elles permettent l'acquisition, le traitement, la classification et l'intégration de l'information reçue.
- **La mémoire et l'apprentissage** : ils permettent le stockage et le rappel de l'information.
- **Le raisonnement ou la pensée** : organisation et réorganisation mentale de l'information.
- **Les fonctions expressives** : elles permettent la communication ou l'action.

Dans le domaine des hyperfréquences, les principales fonctions cognitives étudiées sont la mémoire et l'attention.

### ■ Examens

Plusieurs examens permettent d'évaluer les fonctions cognitives. On distingue :

- **Les tests cognitifs** : les tests et batteries de tests d'appréciation des différentes fonctions cognitives sont nombreux. Ils peuvent être spécifiques de la fonction à étudier : attention, mémoire, vigilance, etc. Quels qu'ils soient, leur

utilisation et leur interprétation dépendent de règles bien définies qu'il est nécessaire de respecter. En effet, la plupart des résultats dits contradictoires observés dans la littérature viennent d'un suivi de procédures différentes ou d'un environnement mal contrôlé.

Dans les études, ces tests peuvent être réalisés seuls ou en association avec d'autres examens, notamment la mesure des potentiels évoqués, visuels, auditifs,... et l'électroencéphalogramme (EEG).

- **Potentiels évoqués** : ils correspondent à la réponse électrique du cerveau à des stimulations données. Les potentiels évoqués cognitifs sont la manifestation électrique de phénomènes élémentaires traduisant le travail de reconnaissance qu'accomplit le cerveau pour certaines stimulations.

- **EEG** : cet examen permet d'enregistrer et de mesurer les ondes de l'activité électrique cérébrale à l'aide d'électrodes placées sur le cuir chevelu. L'électricité que l'on peut alors enregistrer sur le crâne est modifiée lorsque surviennent des stimulations sensorielles.

Cette fiche de synthèse présente les études évaluant les fonctions cognitives à l'aide de tests cognitifs qu'il y ait eu ou non d'autres examens.

## Fonctions cognitives et téléphonie mobile

De nombreuses études expérimentales ont été réalisées chez l'homme mesurant l'effet de l'exposition à des hyperfréquences sur les fonctions cognitives. Dans les études expérimentales humaines, les conditions de l'étude sont déterminées par les chercheurs. Ainsi l'exposition, partielle ou corps entier, la fréquence, la longueur d'onde, le Débit d'Absorption Spécifique (DAS), la durée, l'orientation, les modulations des champs sont contrôlés par les chercheurs.

Dans les études présentées ci dessous, les sujets ont été exposés à des champs compris dans la gamme des fréquences utilisées en téléphonie mobile. Un groupe témoin, non exposé, recevant une exposition fictive (même condition d'examen mais pas d'exposition aux hyperfréquences) ou pas d'exposition servait de groupe de comparaison. Il pouvait s'agir des mêmes sujets soumis à plusieurs sessions d'expositions différentes.

Les études expérimentales mesurent l'effet à **court terme** des radiofréquences sur les fonctions cognitives. A ce jour, aucune étude épidémiologique non expérimentale ne permet de mesurer de façon fiable les effets à long terme des expositions aux radiofréquences.

A la fin des années 1990, début des années 2000, de nombreuses équipes ont étudié l'attention et le temps de réaction à différents stimuli (visuels, auditifs...). Une amélioration du temps de réaction lors de l'exposition à un CEM était fréquemment retrouvée. L'évaluation de la mémoire apportait des conclusions variables. Les études plus récentes, évaluant l'ensemble des processus cognitifs, avec une méthodologie ayant évolué, ne confirment pas ces résultats, ne retrouvant aucune association entre les résultats des tests et la nature de l'exposition.

### *Amélioration de l'attention et du temps de réaction aux stimuli*

Une des premières études à avoir retrouvé une amélioration du temps de réaction lors de l'exposition à des radiofréquences a été publiée par **Prece en 1999** (1) Cette étude, soumettait 36 sujets à 3 types d'exposition : 915MHZ de type analogique ou numérique et champ simulé, dans un ordre aléatoire, durant lesquelles la mémoire, l'attention et le temps de réactions étaient évalués. **Une diminution du temps de réaction dans un des tests proposés a été observée chez les sujets lors des expositions aux CEM, diminution plus importante avec les signaux de type analogique** (temps de réaction moyen : 373,4 ms) par rapport aux signaux numériques (384,4 ms). L'hypothèse émise était que cet effet serait dû à un léger échauffement localisé qui pourrait provoquer une dilatation des vaisseaux sanguins et améliorer l'oxygénation dans cette partie du cerveau.

En **2000, Koivisto et al** (2, 3) ont mené une étude avec 48 sujets. Douze test cognitifs ont été effectués deux fois par personnes : en présence d'une exposition à un CEM de 902 MHz et durant une exposition fictive, dans un ordre aléatoire. **Une diminution du temps de réaction, soit un temps de réponse plus rapide, a été observée pour trois tests : le temps de réaction simple, le test de vigilance et le test de calcul mental.** Selon les auteurs, ces résultats laissaient supposer que les champs émis par téléphones GSM faciliteraient certaines fonctions cognitives, en particulier les

tâches exigeant de l'attention. Cet effet de facilitation pourrait être dû, à une légère élévation de la température des tissus cérébraux.

En **2001, Jech** (4) a montré des **modifications des potentiels évoqués et une diminution significative du temps de réaction à des stimulations visuelles chez 17 sujets atteints de narcolepsie** [exagération pathologique du besoin de dormir] exposés 45 min à des CEM de 900MHz (DAS 0,06 W/Kg) et à un champ fictif dans un ordre aléatoire. L'activité cérébrale enregistrée sur un EEG n'avait subi en revanche, aucune modification lors de cette exposition. Les auteurs suggéraient que les rayonnements de 900 MHz pourraient augmenter les performances des sujets atteints de narcolepsie et diminuer l'endormissement excessif des sujets lors d'une tâche répétitive nécessitant attention et vigilance.

En **2001**, une des rares études épidémiologiques non expérimentale a été publiée par **Lee** (5). Cette **étude transversale** portait sur 72 adolescents : un groupe de 37 utilisateurs de téléphone portable (exposés) et un groupe de 35 non utilisateurs (non exposés) appariés sur l'âge et le sexe. Une série de trois tests psycho-comportementaux permettant d'évaluer l'attention des sujets a été réalisée (SDMT, CST et TMT). **Les résultats à un de ces tests (Trail Making Test) étaient significativement meilleurs dans le groupe des**

**utilisateurs de portables. Aucune différence significative n'était retrouvée pour les deux autres tests.**

En 2003, les auteurs ont réitéré avec une étude expérimentale (Lee 2003 (6)), sur 78 étudiants, exposés de façon aléatoire soit à un CEM de 1900 MHz, soit à un champ simulé, durant une première séance de 25 minutes puis à un champ simulé de 25 minutes pour les deux groupes. **Une amélioration au test TMT était observée entre les deux séances, dans les deux groupes, plus importante dans le groupe exposé** (les résultats étaient comparables lors de la séance 1). **Aucune autre différence significative n'a été observée dans cette étude entre le groupe témoin et le groupe exposé, notamment concernant le nombre de réponses exactes .**

Une autre étude expérimentale publiée en 2002 par Edelstyn (7) avait pour objectif d'étudier les effets des téléphones mobiles sur l'attention et la rapidité de réaction chez l'homme. Trente-huit volontaires, ont été répartis en deux groupes randomisés : un groupe exposé au champ d'un mobile à 900 MHz (téléphone branché), et un groupe témoin (exposition simulée avec un téléphone non connecté). La capacité d'attention et le temps de réaction (soustractions en série et fluence verbale) ont été évalués à l'aide de six tests à 3 reprises : mesures avant exposition puis à 15 minutes et 30

minutes après l'exposition.. **Une différence significative a été mise en évidence entre les deux groupes après une exposition de 15 minutes pour deux tests d'attention et pour un test de rapidité. Les résultats des tests étaient en faveur d'un effet facilitateur du téléphone mobile.**

Enfin, l'étude de Curcio, en 2004 (8), a été réalisée auprès de 20 sujets, soumis à trois sessions de 90 minutes, espacées de 48h, comprenant 45 minutes de repos puis 45 minutes d'évaluation des fonctions cognitives : temps de réaction aux stimuli auditifs simples et complexes, test de recherche visuelle et calcul mental. Les trois sessions étaient réalisées selon un ordre aléatoire et en double aveugle, de la façon suivante : session de référence sans exposition, session avec exposition réelle (téléphone portable 902,4 MHz, DAS 0,5 W/Kg), session avec champs simulé. Deux groupes de 10 ont été constitués au hasard, l'un exposé durant les 45 minutes de repos, l'autre durant les 45 minutes de test. Aucun effet significatif n'a été mis en évidence pour les différents tests de performance cognitive mais **une diminution significative du temps de réaction a été observée pour les sujets exposés.** Cette diminution était plus marquée chez ceux exposés avant les tests (médiane = 248 ms) que pour ceux exposés durant les tests (médiane = 334ms).

### *Evaluation de la mémoire*

Parallèlement à la publication de résultats en faveur d'une amélioration de l'attention, quelques études se sont penchées sur les effets des CEM sur la qualité de la mémoire.

En 1999, dans l'étude de Preece précédemment décrite (1) (36 sujets , 3 types d'exposition : 915MHZ de type analogique ou numérique et champ simulé), **aucune différence significative n'a été observée au niveau de la reconnaissance des mots, des chiffres, des images, ou de la mémoire spatiale.** La consommation d'alcool et les phases de sommeil n'influençaient pas les résultats.

De même, en 2000, Koivisto *et coll.* dans l'étude décrite plus haut (2, 3), ont exploré plus spécifiquement la mémoire de travail à l'aide de différents tests. Une diminution du temps de réaction au test de mémorisation des lettres a été observée lors de l'exposition mais uniquement pour des tests où le sujet devait garder trois items en mémoire. **Aucune différence sur l'exactitude des**

**réponses aux différents tests de mémorisation n'a été constatée.** Les auteurs concluaient que la faible diminution du temps de réaction, combinée à l'absence d'amélioration du niveau d'exactitude, laissait supposer que les résultats n'auraient aucune implication pratique sur l'exécution des tâches de la vie quotidienne.

L'étude de Smythe en 2003 (9) tendait aux mêmes conclusions. Dans cette étude, 62 sujets ont été répartis en 3 groupes d'expositions : pas d'exposition, exposition fictive et CEM de 1800 MHz (DAS : 0,79 W/Kg). La mémoire sémantique et spatiale était testée, à court et long terme. Selon les résultats, **la mémoire spatiale à court terme serait facilitée lors de l'utilisation du téléphone mobile chez l'homme, mais pas chez la femme. Lors du test de rappel, aucune différence statistiquement significative n'était retrouvée dans le nombre d'erreurs.**

Enfin, en **2009**, **Wiholm** (10) a comparé les effets d'une exposition de 2h30 aux RF (884MHz, DAS 1,4 W/KG) sur la mémoire spatiale et l'apprentissage dans une étude en double insu chez des personnes dites hypersensibles aux CEM et chez des personnes sans symptômes. **Les auteurs**

**observaient une amélioration de la mémoire spatiale chez les personnes hypersensibles lors de l'exposition et pas de différence dans le groupe contrôle.**

### *Evaluation globale des processus cognitifs*

Depuis le milieu des années 2000, la plupart des études évaluent les processus cognitifs de façon plus globale grâce à de nombreux tests et ne retrouvent pas d'effet facilitateur des CEM.

En **2005**, une étude expérimentale a été menée par **Beset** (11) auprès de 55 personnes volontaires, âgées en moyenne de 24 ans. Trois périodes ont été définies dans cette étude 45j : adaptation de 3j, exposition de 28j puis 14j de retour à la situation de base. Durant la période d'exposition, 28 personnes ont été exposées à un CEM de 900 MHz (DAS 0,54 W/Kg) et 27 à un champ simulé, ceci 2h/j, 5j/semaine. Les deux groupes étaient constitués de façon aléatoire, en double aveugle et de même âge sexe et QI. Une évaluation des performances cognitives (attention, mémoire, fonctions exécutives, temps de réaction) a été réalisée au milieu de la première et de la dernière période, et deux durant la période d'exposition. **Un effet période a été observé, avec une diminution du temps de réaction durant la période d'exposition, mais aucune différence n'a été observée selon le type d'exposition, réelle ou simulée.**

Durant cette période, une équipe finlandaise a réalisé plusieurs études successives

En **2000**, **Koivisto** (2, 3) avait publié une étude suggérant que l'exposition des téléphones mobiles pouvait améliorer les temps de réaction. Cette étude a été répliquée par les auteurs en 2003 et 2004 (**Haarala, 2003 et 2004** (12, 13)) selon une méthodologie améliorée, avec 64 sujets, (exposition à un CEM de 902 MHz, DAS 0,9-1,2 W/Kg vs. champ fictif, sujets pris comme leur propre témoin) dans 2 laboratoires. **Neuf tests ont évalué l'attention des sujets et aucune différence n'a été observée dans le temps de réaction et l'exactitude des réponses entre les exposés et les non exposés.**

Les auteurs mentionnaient que la plupart des études rapportant un effet des hyperfréquences sur les fonctions cognitives n'avaient fait l'objet d'aucun ajustement statistique pour les comparaisons multiples.

Une autre étude, menée par **Haarala** en **2003** (14) évaluait spécifiquement la mémoire visuelle et le flux sanguin cérébral lors de l'exposition de 14 sujets à des CEM de 902 MHz (DAS : 0,993 W/Kg) et à un champ fictif (ordre aléatoire). **L'exposition aux CEM ne produisait aucun effet significatif sur le temps de réaction ou l'exactitude des réponses dans des tâches explorant la mémoire.** Le faible effectif (tests exploitables pour 10 sujets) reste cependant une limite à cette étude).

Par la suite, en **2007** une nouvelle étude expérimentale publiée par **Haarala** (15) a évalué les effets des CEM sur les fonctions cognitives. Deux groupes de volontaires adultes droitiers ont été constitués : 36 hommes ont participé à trois sessions expérimentales de 90 minutes espacées d'une semaine et 12 hommes ont été évalués en dehors du contexte expérimental. Les trois sessions étaient réalisées dans un ordre aléatoire, inconnu des volontaires et des expérimentateurs, exposant l'hémisphère droit puis gauche à un champ continu ou un champ pulsé de 902 MHz, avec un DAS<sub>10g</sub> de 0,738 W/Kg ou enfin un champ simulé. **Aucune différence significative n'a été observée à l'évaluation du temps de réaction (choix simple, calcul mental, vigilance) et de la mémoire visuelle, quel que soit l'hémisphère cérébral, le groupe ou la session d'exposition.**

En 2006, une publication a fait suite à l'étude TNO de 2003. L'étude TNO (**Zwanborn 2003** (16)) comparait deux groupes (hypersensibles et non hypersensibles) lors de 3 expositions : 900/1800 et 2100 MHz en ce qui concerne le bien-être et la cognition. Cette étude montrait un effet des CEM mais inconstant et contradictoire selon les expositions et avait été fortement contesté du point de vue méthodologique.

L'étude a été répliquée en **2006** par l'équipe de **Regel** (17) avec 117 sujets (33 hypersensibles et 84 sujets non sensibles). Les sujets étaient soumis 3 sessions de 45 minutes, à 1 semaine d'intervalle : CEM similaire à celui émis par une station de base UMTS (2140 MHz), à une intensité de champ

électrique de 0, 1, de 10 V /m, et champ simulé, dans un ordre aléatoire et inconnu. **Aucune différence n'était observée en ce qui concerne les performances cognitives (temps de réaction choix simple/ multiple et attention visuelle) entre les trois expositions, quel que soit le groupe.**

En **2007**, une étude a été réalisée en Allemagne (**Fritzer** 2007 (18)), afin d'évaluer les effets des radiofréquences pulsées sur le sommeil nocturne et les fonctions cognitives. Vingt jeunes adultes de sexe masculin en bonne santé ont été sélectionnés afin de passer 8 nuits dans le laboratoire. Les deux premières nuits se déroulaient sans exposition, la première pour l'adaptation, la seconde pour les mesures de référence. Les six nuits suivantes, 10 personnes ont été exposées à un CEM de 900 MHz ( $DAS_{10g}$  1W/kg,  $DAS_{CE}$  24mW/Kg) et 10 témoins ont été exposés à un champ simulé. Les deux groupes étaient tirés au sort et le groupe n'était pas connu. Une polysomnographie nocturne et une évaluation des capacités cognitives par des tests neuropsychologiques (attention, apprentissage, mémoire à court terme, Test d2, TMT-B) étaient réalisées, comparant la seconde nuit (référence), la 3<sup>ème</sup> nuit (effet à court terme) et la 8<sup>ème</sup> nuit (effet à long terme). **Les résultats n'ont pas mis en évidence de différence significative entre les différents tests des fonctions cognitives quelle que soit l'exposition.**

En **2008**, une étude expérimentale a été réalisée par **Riddervold** (19) en vue d'étudier les effets à court terme des radiofréquences provenant des stations de base UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). L'étude a été conduite en schéma croisé, randomisée, en double aveugle. Ont participé à cette étude 40 adolescents âgés de 15 à 16 ans et 40 adultes âgés de 25 à 40 ans, sélectionnés au hasard à partir du registre d'Etat Civil d'une province du Danemark. Chaque sujet a successivement participé à 4 sessions dans un ordre aléatoire : exposition simulée, émission continue à 2140 MHz, signal de 2140 MHz modulée comme UMTS et UMTS modulée à 2140 MHz. Les sujets subissaient une exposition de 35 minutes à une des conditions suscitées. Ils devaient, à la fin de l'exposition, compléter un ensemble de tests neuropsychologiques. Un intervalle d'au moins 24h était respecté entre deux sessions successives. Le critère principal était le temps pour compléter le Trial Making B (TMB), considéré comme un test sensible pour la détection de déficits dans des multiples domaines cognitifs. Les tests étaient exactement les mêmes à chaque session, et un effet d'apprentissage a été pris en compte dans les analyses. Un questionnaire portant sur l'existence de certains symptômes était rempli par

chaque sujet en début et en fin de chaque session. **En ce qui concerne les performances aux tests cognitifs, aucune différence significative n'a été observée entre les expositions simulées et l'exposition aux radiofréquences UMTS dans aucun des groupes d'âge.** En ce qui concerne les symptômes, le taux rapporté de céphalées lors de l'exposition UMTS était supérieur à celui des expositions simulées, lorsque les réponses des deux groupes d'âge étaient analysées ensemble ( $p=0,027$ ).

Trois études s'intéressant plus spécifiquement à l'attention et au temps de réaction ne confirmaient pas non plus les résultats des premières études.

En **2007**, l'étude expérimentale japonaise de **Terao** (20) a évalué les effets de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les téléphones portables sur les mouvements de saccades oculaires et sur le temps de réaction aux stimuli visuels. Dix sujets ont été soumis à deux séances de 30 minutes espacées d'une semaine : expositions réelle ou simulée à des champs électromagnétiques, dans un ordre aléatoire, non connu avec une exposition réelle de 800 MHz ( $DAS_{10g}$  0,05+/-0,02 W/Kg). Les paramètres étaient mesurés avant et après les séances. **Les résultats n'ont pas montré d'effets significatifs de l'exposition à court terme à des champs électromagnétiques pendant 30 minutes sur le temps de réaction.** Il faut noter le faible effectif de cette étude.

L'étude de **Kleinlogel** en **2008** (21) avait pour objectif de mesurer l'effet à court terme des CEM sur les potentiels évoqués auditifs (PEA) et visuels (PEV) et sur les performances cognitives (temps de réaction et attention évalués par le CPT). Quinze volontaires de sexe masculin, droitiers et âgés de 20 à 35 ans ont été recrutés. Chaque individu a participé à un entraînement puis à 4 séances de 30 minutes, à une semaine d'intervalle, dans un ordre aléatoire et en double aveugle : exposition de type GSM (900 MHz,  $DAS_{10g}$  1W/kg), deux expositions type UMTS (1950 MHz,  $DAS_{10g}$  0,1W/kg et 1W/kg) et exposition simulée. Le déroulement de la séance suivait un ordre précis : PEV, CPT, PEA classique et P300 (sons rares). **Aucun des paramètres cognitifs n'étaient affectés de façon significative par l'exposition aux radiofréquences UMTS ou GSM.**

Enfin, une autre étude japonaise a été réalisée en **2009** par **Furubayashi** (22). Parmi 2472 femmes entre 20 et 60 ans ayant répondu à un questionnaire sur l'utilisation du téléphone portable 29 déclaraient avoir des symptômes imputables au téléphone. Onze de ces femmes ont été comparées à 43

femmes sans symptômes. Elles ont été soumises à 4 expositions de 30 minutes, dans un ordre aléatoire : champ continu, champ intermittent, champ simulé avec bruit et sans bruit; avec des CEM de 2,14 GHz (intensité 10 V / m) afin de reproduire les signaux émis par les stations de base. Le temps de réaction

était mesuré avant et après chaque exposition. **Le temps de réaction n'était pas modifié quelle que soit l'exposition**, en revanche, il était plus bas chez les femmes se plaignant de symptômes liés au téléphone portable comparé aux contrôles.

## Examens spécifiques

### ■ *Potentiels évoqués auditifs et visuels*

#### **Kleinlogel 2008** (21)

L'objectif de cette étude, décrite précédemment était de mesurer l'effet à court terme des CEM sur les potentiels évoqués auditifs (PEA) et visuels (PEV) et sur les performances cognitives (CPT). Le déroulement de la séance suivait un ordre précis : PEV, CPT, PEA classique et P300 (sons rares). Aucun des paramètres PEV, PEA classique et P300 n'était affecté de façon significative par l'exposition aux radiofréquences UMTS ou GSM.

Ce résultat était contradictoire avec l'étude de **Maby**, en **2004** (23), qui retrouvait une diminution des potentiels évoqués auditifs (N100) chez des personnes saines et épileptiques et une augmentation de la latence chez les personnes saines.

### ■ *Sommeil*

#### **Fritzer 2007** (18)

Cette étude allemande, décrite plus haut, évaluait les effets des radiofréquences pulsées sur le sommeil nocturne et les fonctions cognitives. La polysomnographie nocturne comparant la seconde nuit (référence), la 3<sup>ème</sup> nuit (effet à court terme) et la 8<sup>ème</sup> nuit (effet à long terme) n'a pas mis en évidence de différence significative entre les différentes mesures des paramètres du sommeil nocturne quelle que soit l'exposition.

Ces résultats allaient dans le même sens que l'étude de **Wagner** en **2000** (24).

### ■ *Mouvements oculaires*

#### **Terao 2007** (20)

L'étude japonaise réalisée en 2007 (décrite plus haut) explorait les mouvements de saccade oculaire avant et après l'exposition pendant 30 minutes à un champ électromagnétique ou à un champ simulé. Les résultats n'ont pas montré d'effets significatifs à court terme de l'exposition sur les mouvements de saccades oculaires.

## Méta-analyse

#### **Barth 2008** (25)

En 2008, une méta-analyse (analyse les résultats de plusieurs études de façon groupée) a regroupé 10 études expérimentales, en simple ou double aveugle, pour des expositions de 900MHz (et une de 1900Mhz).

Les études portaient sur des individus des deux sexes, avec des moyennes d'âge entre 20 et 33 ans et testaient le temps de réaction à des stimuli simples et complexes, la vigilance, le calcul mental (réponse et temps), l'attention (réponse et temps), la mémoire à court terme (réponse et temps) et l'acuité visuelle. Les résultats montraient une différence significative selon l'exposition pour deux fonctions cognitives : la mémoire à court terme et le calcul mental. **Pour la mémoire on observait une diminution du temps aux tâches faciles et augmentation de celui-ci aux tâches complexes avec plus d'erreurs lors de l'exposition. Pour le calcul, le temps de réaction était diminué lors de l'exposition sans modification du nombre de bonne réponse récente.**

## Références

1. Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, et al. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 1999;75(4):447-56.
2. Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport*. 2000;11(8):1641-3.
3. Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, et al. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport*. 2000;11(2):413-5.
4. Jech R, Sonka K, Ruzicka E, Nebuzelsky A, Bohm J, Juklickova M, et al. Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 2001;22(7):519-528.
5. Lee TMC, Ho SMY, Tsang LYH, Yang SYC, Li LSW, Chan CCH. Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport*. 2001;12(4):729-31.
6. Lee TMC, Lam PK, Yee LTS, Chan CCH. The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport*. 2003;14(10):1361-4.
7. Edelstyn N, Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport*. 2002;13(1):119-21.
8. Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L, Cristiani R, D'Inzeo G, Bertini M. Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature. *Neuroreport*. 2004;15(1):161-4.
9. Smythe JW, Costall B. Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects. *Neuroreport*. 2003;14(2):243-6.
10. Wiholm C, Lowden A, Kuster N, Hillert L, Arnetz BB, Akerstedt T, et al. Mobile Phone Exposure and Spatial Memory. *Bioelectromagnetics*. 2009;30(1):59-65.
11. Besset A, Espa F, Dauvilliers Y, Billiard M, De Seze R. No effect on cognitive function from daily mobile phone use. *Bioelectromagnetics*. 2005;26(2):102-8.
12. Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, et al. Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. *Bioelectromagnetics*. 2003;24(4):283-8.
13. Haarala C, Ek M, Bjornberg L, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, et al. 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. *Bioelectromagnetics*. 2004;25(6):452-6.
14. Haarala C, Aalto S, Hautzel H, Julkunen L, Rinne JO, Laine M, et al. Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: a PET study. *Neuroreport*. 2003;14(16):2019-23.
15. Haarala C, Takio F, Rintee T, Laine M, Koivisto M, Revonsuo A, et al. Pulsed and continuous wave mobile phone exposure over left versus right hemisphere: Effects on human cognitive function. *Bioelectromagnetics*. 2007;28(4):289-95.
16. Zwamborn A.P., Vossen S.H., van Leersum B.J. *et al.*. Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. The Hague: TNO Physics and Electronics Laboratory. 2003. 89 p. (FEL-03-C148).
17. Regel S.J., Negovetic S., Roosli M. *et al.* UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ Health Perspect*. 2006; 114(8):1270-5.
18. Fritzer G, Göder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze Selch D, et al. Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects. *Bioelectromagnetics*. 2007;28(4):316-25.
19. Riddervold IS, Pedersen GF, Andersen N, Pedersen AD, Andersen JB, Zachariae R, et al. Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to RF radiation from UMTS base stations. *Bioelectromagnetics*. 2008;29(4):257-67.
20. Terao Y, Okano T, Furubayashi T, Yugeta A, Inomata Terada S, Ugawa Y. Effects of thirty-minute mobile phone exposure on saccades. *Clin Neurophysiol*. 2007;118(7):1545-56.
21. Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. Effects of weak mobile phone - Electromagnetic fields (GSM, UMTS) on event related potentials and cognitive functions. *Bioelectromagnetics*. 2008;29(6):488-97.
22. Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, et al. Effects of Short-Term W-CDMA Mobile Phone Base Station Exposure on Women With or Without Mobile Phone Related Symptoms. *Bioelectromagnetics*. 2009;30(2):100-13.
23. Maby E, Le Bouquin Jeanes R, Liegeois Chauvel C, Gourevitch B, Faucon G. Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method. *Med Biol Eng Comput*. 2004;42(4):562-8.
24. Wagner P, Roschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, et al. Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields - Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology*. 2000;42(4):207-12.
25. Barth A, Winker R, Ponocny Seliger E, Mayrhofer W, Ponocny I, Sauter C, et al. A meta-analysis for neurobehavioural effects due to electromagnetic field exposure emitted by GSM mobile phones. *Occup Environ Med*. 2008;65(5):342-6.