

→ R. Klein,
Département Ingénierie
des équipements de travail,
Centre de recherche
de l'INRS, Nancy

Rayonnements électromagnétiques des téléphones portables

Mesures des émissions de divers appareils

ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM MOBILE TELEPHONES

MEASUREMENT OF EMISSIONS
FROM VARIOUS ITEMS OF
EQUIPMENT

Presentation of the methods used by the INRS to measure electromagnetic emissions from various mobile telephones, and of the results obtained. Field strength and distribution were measured for each type of equipment tested (three GSM and two DCS telephones). Related risks such as the level of user exposure to electromagnetic field and the possible biological effects thereof, and interference with nearby electronic systems (electromagnetic compatibility) are also addressed. Characterisation of the fields emitted by mobile telephones can contribute to thinking on improved risk prevention, for example:

- by encouraging designers to reduce radiation towards the user,
- by recommending minimum distances between mobile telephones in use and electronic systems with which they may interfere.

- mobile telephone
- electromagnetic radiation
- health • pacemaker
- electronic system

Cet article présente des méthodes et résultats de mesurages effectués par l'INRS concernant l'émissivité électromagnétique de divers téléphones portables : ont été évaluées l'intensité et la répartition du champ émis pour chaque appareil choisi (trois de type GSM et deux de type DCS). Sont également évoqués les risques associés : niveau d'exposition des utilisateurs au champ électromagnétique (possibles effets biologiques), perturbation de systèmes électroniques voisins (compatibilité électromagnétique). La caractérisation du champ émis par les portables et sa prise en compte permettent une réflexion sur de possibles améliorations de la prévention de ces risques, notamment :

- en promouvant la conception d'appareils dont le rayonnement en direction de l'utilisateur serait atténué,
- en préconisant des distances minimales entre le portable en cours d'utilisation et les systèmes électroniques susceptibles d'être perturbés.

- téléphone portable • rayonnement électromagnétique • santé • stimulateur cardiaque • système électronique
- caliligne

L'utilisation de plus en plus répandue dans la vie courante, mais aussi en milieu professionnel, du radiotéléphone cellulaire, appelé communément « portable », a conduit à des préoccupations de trois ordres concernant la santé et la sécurité des personnes, en particulier sur les lieux de travail.

■ Les effets du champ électromagnétique sur la tête et la main de l'utilisateur, appelés plus généralement effets biologiques. La préoccupation est notamment exprimée par des médecins spécialistes en ce domaine [1 à 5]. Elle est cependant plus affirmée pour les éventuels effets sur les organes de la tête.

■ Les effets possibles sur les stimulateurs cardiaques et autres implants actifs. Il s'agit d'un problème spécifique de compatibilité électromagnétique (CEM) relatif à des dispositifs médicaux. Un éventuel dysfonctionnement (arrêt, emballement, déprogrammation, etc.) de ce type de sys-

tème électronique peut présenter des conséquences dangereuses pour la santé de la personne qui en est munie [6].

■ Les effets sur les systèmes électroniques pilotant les machines et processus industriels et sur les dispositifs assurant la sécurité des personnes aux abords de machines dangereuses. Il s'agit là du problème de la CEM entre les portables et ces systèmes.

L'effet perturbateur du champ électromagnétique a conduit à certains dysfonctionnements constatés en milieu industriel et parfois, à l'interdiction du portable dans des locaux où sont implantés des systèmes électroniques [7, 8] (1).

(1) Des préoccupations également relatives à la sécurité des personnes sont exprimées dans d'autres secteurs : milieu hospitalier, navigation aérienne, Commission de la sécurité des consommateurs [9].

La caractérisation de ce champ permet de concevoir les systèmes électroniques, « potentiellement victimes », de façon à leur conférer une bonne immunité face à cette perturbation. Ces systèmes peuvent se trouver à des distances variables du portable (quelques dm à quelques m).

L'objet de cette étude est de présenter les méthodes et les résultats de mesures effectuées par l'INRS concernant l'émissivité électromagnétique de divers portables. Ces résultats permettent de connaître l'intensité et la répartition du champ électrique, qui caractérise essentiellement le champ électromagnétique émis par divers appareils, en apportant ainsi un élément de réponse à des préoccupations de santé et sécurité.

Mesurages effectués

■ Les mesures de l'intensité de champ électrique sont effectuées à différentes distances de l'antenne du portable :

- à 2, 5, et 10 cm « côté clavier ». Ces distances sont en rapport avec celles qui séparent le portable de la tête de l'utilisateur, donc avec les préoccupations relatives aux effets biologiques (zone de champ proche, début de la zone de champ lointain) ;

- à 10 cm, 1, 2 et 3 m « côté dos ». Ces distances sont en rapport avec celles qui séparent le portable d'un système électronique potentiellement victime des perturbations rayonnées émises, donc avec les préoccupations relatives à la CEM (zone de champ lointain).

L'ensemble des mesures effectuées aux distances mentionnées ci-dessus se rapporte aux préoccupations relatives aux effets sur les implants actifs.

■ La caractérisation de la distribution du rayonnement à distance nulle sur toute la longueur de la « face clavier » permet de localiser la partie de la tête (mâchoire, oreille, cerveau,...) qui subit l'exposition la plus intense au rayonnement électromagnétique.

■ Le diagramme de rayonnement, effectué à une distance de 2 m, caractérise l'intensité de champ à laquelle peut être soumis un système électronique situé dans une large partie de l'environnement du portable.

1. Conditions de mesurage

1.1. Caractéristiques radioélectriques essentielles du téléphone portable

Les normes actuellement utilisées en Europe pour la téléphonie mobile sont les normes **GSM 900** (Global System for Mobile communication) et **DCS 1800** (Digital Cellular System at 1800 MHz). Elles présentent des caractéristiques similaires à quelques exceptions près, en particulier, les bandes de fréquence allouées : respectivement autour de 900 MHz et 1800 MHz, et la puissance maximale d'émission du portable : respectivement 2 W et 1 W. Le signal radioélectrique est modulé par des impulsions codées numériquement.

En utilisation sur un réseau cellulaire, la puissance d'émission du mobile est commandée par la station de base en fonction de la qualité des signaux reçus (taux d'erreurs numériques). Le portable ne fonctionne donc pas toujours en puissance d'émission maximale. Cela présente l'intérêt de pouvoir minimiser la consommation en énergie de l'appareil qui, rappelons-le, est alimenté par accumulateur.

Le *tableau AI-1 (annexe I)* résume les principales caractéristiques des normes GSM et DCS [10, 11]. Les *figures AI-1, AI-2 et AI-3* montrent respectivement le spectre du signal émis par un portable GSM et sa visualisation dans le domaine temporel.

1.2. Portables choisis pour le mesurage

Trois appareils GSM (appelés G1, G2 et G3 par souci de confidentialité) et 2 DCS (appelés D1 et D2) ont été achetés en magasin grand public. Afin de mettre en évidence une dispersion des caractéristiques d'émissivité, ils sont choisis avec des géométries d'antenne ou dans des marques différentes :

- G1 et G2 : de marques différentes, ils sont munis tous deux d'antennes télescopiques,

- G3 : non muni d'antenne extérieure, il est équipé d'une antenne intérieure de type « patch » avec une directivité côté dos du portable, afin de réduire l'émissivité vers la tête de l'utilisateur.

Cet appareil présente donc un intérêt particulier concernant l'exposition de l'utilisateur au rayonnement électromagnétique,

- D1 : muni d'une antenne télescopique,
- D2 : muni d'une antenne fixe de 2 cm environ.

Pour les appareils munis d'antennes télescopiques, il est possible d'effectuer des mesures avec deux configurations : antenne sortie d'une part, et antenne rentrée d'autre part [12 à 14].

1.3. Méthode de mesurage utilisée

Les appareils sont placés en conditions normales d'utilisation. Ils sont équipés de cartes SIM (Subscriber Identity Module) de test standard, ce qui permet d'établir les communications propres aux tests avec l'appareil.

Les portables fonctionnent à puissance maximale, en veillant à ce que l'état de charge relatif de leur batterie ne soit pas inférieur à 2/3. Les mesures sont effectuées en chambre anéchoïque avec une antenne en polarisations verticale et horizontale.

Le portable est placé dans les mêmes conditions de fonctionnement que lorsqu'il est utilisé par un usager mais sans la présence de ce dernier.

Un testeur de postes mobiles connecté à une antenne d'émission/réception est utilisé comme base BTS (Base Transceiver Station). Il s'agit donc d'un montage simulant un réseau GSM ou DCS actuellement en exploitation.

Cette configuration permet de communiquer avec le portable muni d'une carte SIM de test en lui envoyant des signaux de service. Ce dernier répond à la BTS en confirmant la valeur des paramètres qui lui sont envoyés.

Il est donc possible de commander le mode de fonctionnement du mobile (émission permanente), sa puissance d'émission (maximale dans notre cas), ainsi que son canal choisi en milieu de bande (cf. annexe III, § AIII-7 : fréquences d'émission et de réception).

Le mobile communique constamment avec la BTS qui mesure divers paramètres (taux d'erreurs numériques, niveau reçu, etc.).

Le niveau d'émission de la BTS (niveau de sortie 0,1 µW) est très faible par rapport à celui du portable fonctionnant à puissance minimale (1 mW, cf. annexe I). Il n'y a donc pas de risque de perturber les mesures propres à ce dernier.

Ce montage permet une très grande souplesse dans la commande des paramètres du portable.

Celui-ci est placé sur un support en polymère qui le maintient en position verticale.

Le capteur de mesure utilisé de façon préférentielle est un dipôle demi-onde, ajustable en fonction de la fréquence.

Un second capteur est utilisé à des fins de comparaison : une antenne log-périodique pour les mesures des émissions provenant des portables GSM et un cornet pour les DCS.

Ces capteurs sont placés à la même hauteur que la zone de rayonnement maximal du mobile : le milieu de l'antenne pour les quatre appareils qui en sont munis et une zone qui sera déterminée par les mesures ci-après pour l'appareil non muni d'antenne extérieure.

1.4. Configurations des montages de mesure

Les schémas présentés dans l'*annexe II (figs AII-1 et AII-2)* représentent les montages du banc utilisés pour les différents types de mesures avec les capteurs suivants :

- dipôle ajustable demi-onde, longueur 16,5 cm et 8,5 cm pour GSM et DCS respectivement,
- antenne log-périodique,
- cornet,
- sonde « boule » pour la caractérisation de la répartition du champ sur la longueur du mobile (mesure au contact).

Les *figures 1 et 2* montrent la configuration du banc pour les mesures effectuées avec le dipôle et la sonde « boule ».

La distance entre la source d'émission (portable) et capteur est prise à partir de l'axe de l'antenne (ou du portable pour les appareils non munis d'antenne extérieure) jusqu'à :

- l'axe du dipôle ajustable,
- le nez de l'antenne log-périodique,
- la face avant du cornet.

Le principe de mesure des différents paramètres est décrit en *annexe III :*

- schéma du montage de mesure (*fig. AIII-1*),
- définition des unités utilisées,
- détermination de l'intensité E de champ,
- tension donnée par l'analyseur de spectre,
- facteur d'antenne (*tableau AIII-I*),
- pertes par le câble (*fig. AIII-2*),
- détermination du canal de travail,
- détermination du plan horizontal des points de mesure (*fig. AIII-3 et AIII-4*).



Fig. 1. Mesure avec le dipôle
- Measurement with half-wave probe

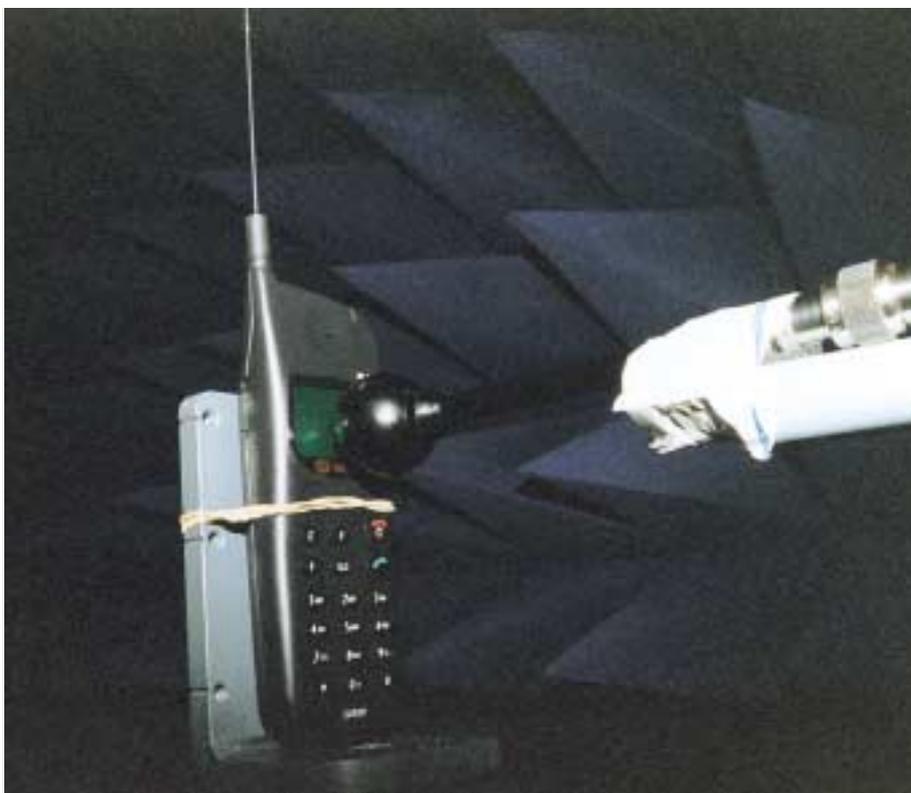


Fig. 2. Mesure avec la sonde « Boule »
- Measurement with ball probe

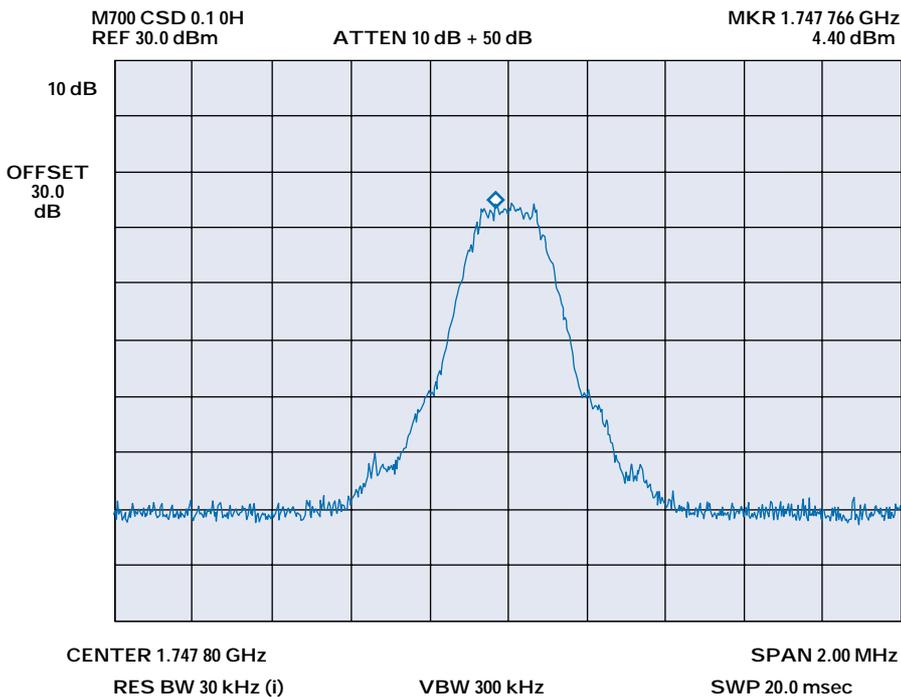


Fig. 3. Relevé relatif à une mesure DCS 1800 (canal 700) (fréquence en GHz, amplitude en dB) - Results of DCS 1800 measurement (channel 700)

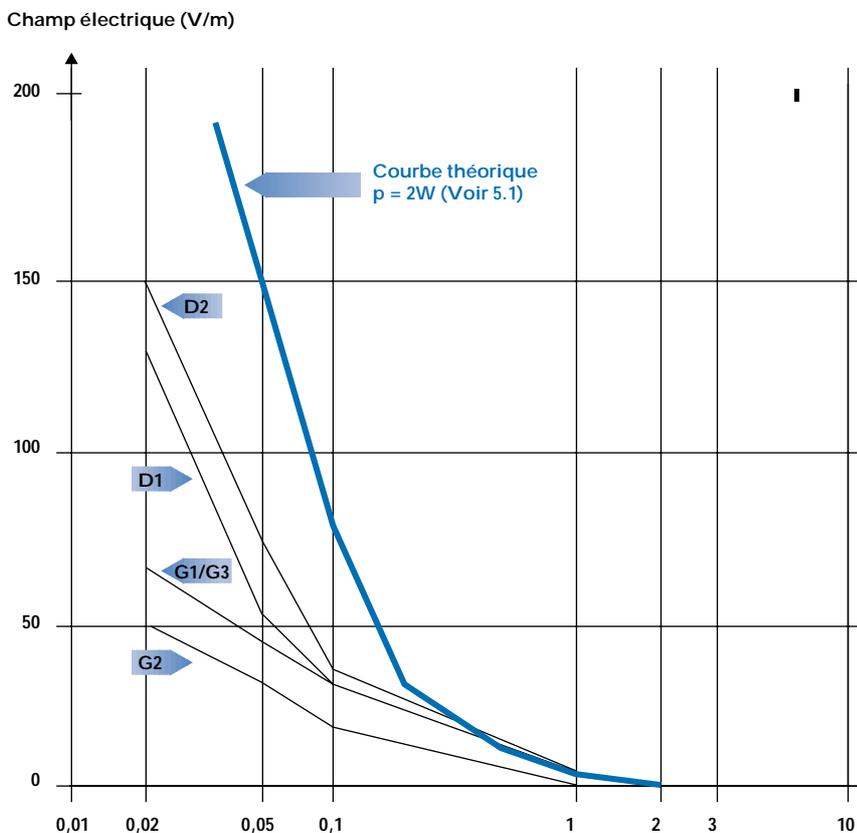


Fig. 4. Représentation graphique de l'intensité de champ électrique en fonction de la distance (en m) - Electrical field strength in relation to distance

Les courbes obtenues sur l'écran de l'analyseur sont reproduites à l'aide d'un traceur. Elles ont une allure de type courbe de Gauss.

La *figure 3* représente un exemple de tracé.

2. Résultats

2.1. Mesurage de l'intensité de champ à différentes distances

Il a été effectué à l'aide des différents capteurs mentionnés précédemment (cf. § 1.4). Seuls les résultats obtenus à l'aide du dipôle en polarisation verticale sont donnés car ils correspondent aux valeurs les plus élevées. La *figure 4* montre la variation de l'intensité de champ en fonction de la distance.

2.2. Répartition du champ électrique sur la « face clavier » du portable

Elle est effectuée à distance nulle (sonde au contact) en déplaçant cette dernière verticalement (cf. § 1.4 et fig. AII2, annexe II).

Cette mesure est relative, il n'est donc pas nécessaire de disposer de la valeur absolue de l'intensité de champ. La valeur du niveau de sortie de la sonde est suffisante. La référence : 0 dB est prise au niveau le plus élevé pour chaque portable.

Les *figures 5 à 9* représentent approximativement sous forme graphique la répartition de l'intensité de champ sur la « face clavier » pour chacun des portables.

Figures 5 à 9. Représentation graphique de la répartition de l'intensité de champ électrique sur la face « clavier » (5 à 7 : GSM, 8 et 9 : DCS) - Electrical field strength distribution on keyboard side (5 to 7 : GSM; 8 and 9 : DCS)

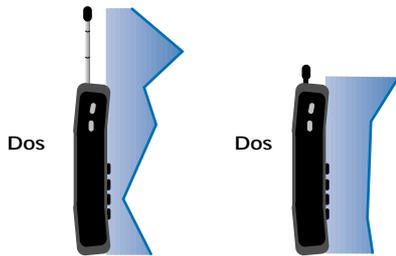


Fig. 5. Portable G1
- Mobile G1

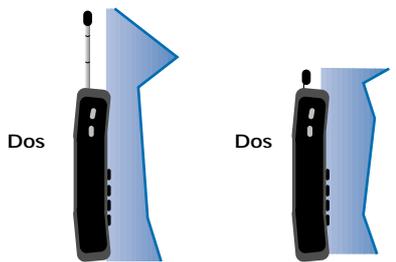


Fig. 6. Portable G2
- Mobile G2

Fig. 7. Portable G3
- Mobile G3

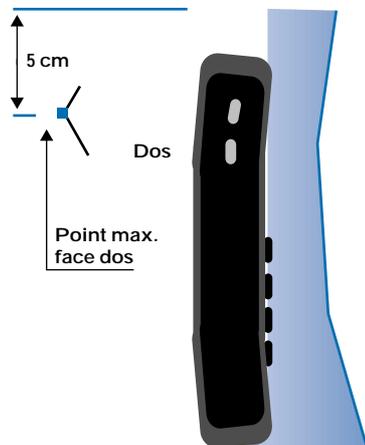


Fig. 8. Portable D1
- Mobile D1

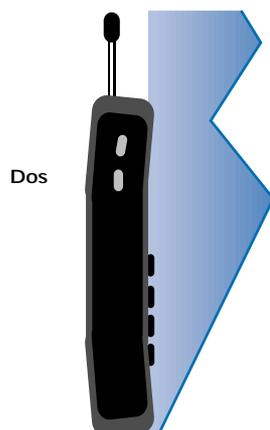


Fig. 9. Portable D2
- Mobile D2

2.3. Diagramme de rayonnement

Pour des études de CEM, le diagramme est effectué dans le plan horizontal à une distance de 2 m. Les points de mesure sont répartis sur le pourtour de l'appareil à l'exception de la face clavier. En effet, en utilisation normale, la tête de l'utilisateur constitue un obstacle absorbant et réfléchissant, placé entre la source perturbatrice (face clavier) et le système électronique potentiellement victime. Par conséquent, dans la configuration de laboratoire, une mesure à 2 m côté face clavier n'est pas pertinente.

L'antenne télescopique du portable est sortie. Le capteur utilisé est le dipôle en polarisation verticale. Les mesures précédentes montrent que le rayonnement maximal est obtenu, pour la plupart des points, dans cette polarisation du capteur.

Les figures 10 à 14 représentent graphiquement les différents diagrammes de rayonnement.

La mesure côté « face clavier » a permis, pour le portable G3, de mesurer la directivité avant/arrière pour cet appareil, non muni d'antenne extérieure (cf. §§ 1.3 et 3.3).

3. Discussion

3.1. Approche théorique

L'intensité de champ électrique, émis par une source isotrope alimentée par une puissance P, peut être déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$E = \frac{5,5 \cdot \sqrt{P}}{d} \text{ [V / m]}$$

avec P [W], d [m].

Cette relation n'est valable qu'en zone de champ lointain (cf. annexe III, § AIII-7) [15].

Pour une source de 2 W, l'intensité est donnée par la courbe de la figure 15.

Le tableau I présente l'intensité théorique du champ émis par les portables GSM et DCS en fonction des distances choisies pour ces mesures. Elle n'est valable que pour des distances très grandes par rapport à la longueur d'onde.

Les portables sont considérés comme étant des sources isotropes pour ces calculs.

L'écart relatif entre valeurs mesurées (cf. fig. 4) et calculées (cf. tableau I) est important. Il diminue lorsque le point de mesure s'éloigne de la source.

3.2. Incertitudes des mesures

Les principaux facteurs d'incertitude sont les suivants :

Capteur à proximité de l'antenne du portable

La taille des capteurs utilisés pour ces mesures modifie la distribution du champ électrique dans cette zone. Cela est aussi valable pour le dipôle bien qu'il soit le

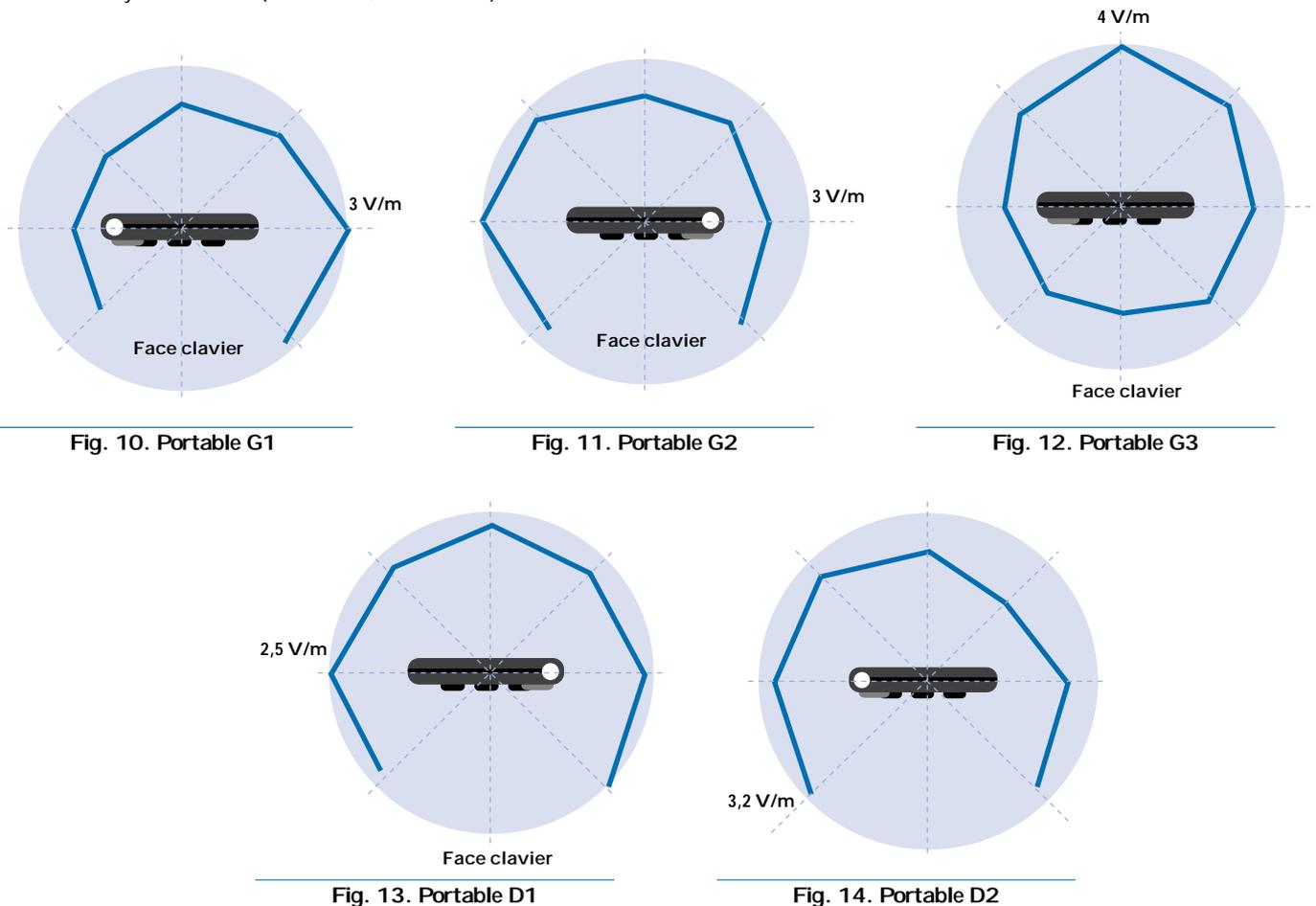
capteur de plus petite taille. Le « dipôle DCS » donne une valeur d'intensité de champ nettement plus élevée que celle donnée par le « dipôle GSM », alors que l'on devrait trouver le contraire, compte tenu de la puissance nominale des portables. Il est possible que le dipôle DCS, de taille plus petite, modifie moins la distribution du champ électrique que le dipôle GSM.

Les dimensions des antennes (log-périodique et cornet) sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du signal. Or, il est souhaitable de pouvoir effectuer les mesures en champ proche dans une zone de champ la plus restreinte possible, comme pour les mesures effectuées avec les dipôles. Cela n'est pas réalisable avec ces antennes, d'où une incertitude due à la modification de la distribution du champ électrique.

Facteur d'antenne

La relation utilisée pour son calcul, ainsi que la valeur donnée par le constructeur par étalonnage, ne sont valables qu'en champ lointain. L'approximation faite lors

Figures 10 à 14. Diagrammes de rayonnement à 2 m des portables étudiés (10 à 12 : GSM, 13 et 14 : DCS) - Diagrams of radiation emitted within 2 meters by mobiles studied (10 to 12: GSM; 13 and 14: DCS)



des mesures en champ proche est un facteur d'erreur non négligeable.

Dans cette même configuration, la faible distance entre le capteur et l'antenne produit un couplage qui n'est pas sans influencer sur la valeur mesurée. L'action de ce couplage n'est pas prise en compte lors des mesures.

Dimensions de certains capteurs

La constitution des antennes cornet et log-périodique ne permet pas de déterminer de façon précise une distance entre partie effective du capteur et source d'émission.

3.3. Interprétation des résultats

■ Pour les mesures en champ proche, les causes d'incertitudes mentionnées plus haut (taille et position du capteur en zone de champ proche) peuvent expliquer les résultats :

- les résultats de mesure (cf. fig. 4) sont très différents de ceux obtenus par calcul théorique. Les résultats obtenus avec deux capteurs différents ne sont pas comparables ;

- les intensités de champ sont différentes pour deux appareils GSM de mêmes puissance et constitution ;

- les résultats ne sont identiques qu'à partir de 10 cm pour les deux appareils DCS dont l'émissivité est mesurée avec le dipôle ;

- L'intensité de champ des appareils DCS est supérieure à celle des appareils GSM. Or, compte tenu de la puissance d'émission, c'est le résultat contraire qui est attendu.

On notera cependant que l'intensité de champ est réduite lorsque l'antenne du portable GSM et DCS est rentrée.

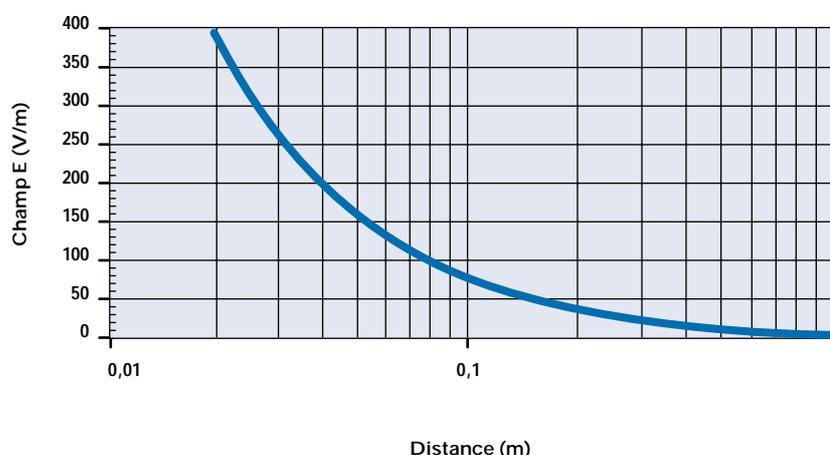
■ En ce qui concerne la répartition de l'intensité de champ sur la face clavier, l'intensité de champ est maximale à proximité de l'antenne pour les portables qui en sont munis.

- Pour celui non muni d'antenne extérieure, elle se situe à l'extrémité inférieure. Sa directivité avant/arrière est également confirmée par la mesure (7,3 dB) de la répartition de l'intensité de champ.

- Les résultats obtenus pour les distances supérieures ou égales à 1 m sont identiques pour des portables de même type.

- L'intensité de champ est plus élevée pour l'appareil G3 non muni d'antenne extérieure car les résultats montrent qu'il possède une directivité avant/arrière d'environ 9 dB. Cette dernière, annoncée par le constructeur, est donc vérifiée.

Fig. 15. Intensité de champ théorique en fonction de la distance (P = 2 W)
(source : CNET - France Télécom) - Theoretical field strength in relation to distance (P = 2 W)



Distance (m)

TABLEAU I

INTENSITÉ DE CHAMP THÉORIQUE POUR LES DISTANCES DE MESURE
THEORETICAL FIELD STRENGTH FOR THE VARIOUS MEASURING DISTANCES

Portable	Intensité théorique de champ électrique (V/m) à la distance de :					
	0,02 m	0,05 m	0,1 m	1 m	2 m	3 m
GSM 2 W	390	156	78	7,8	3,9	2,6
DCS 1 W	275	110	55	5,5	2,8	1,8

- Pour une distance supérieure ou égale à 1 m, les résultats obtenus à l'aide de deux capteurs différents sont sensiblement identiques. L'intensité en polarisation horizontale (non indiquée dans ce document) est légèrement inférieure à celle mesurée en polarisation verticale.

■ L'intensité de champ est également réduite lorsque l'antenne du portable GSM et DCS est rentrée, sauf pour l'appareil DCS muni d'une antenne télescopique.

■ Les diagrammes de rayonnement sont sensiblement omnidirectionnels et identiques, à l'exception du portable non muni d'antenne extérieure. Sa directivité avant/arrière mesurée dans cette configuration de mesure est de 9,7 dB.

Conclusions

■ Les mesures effectuées à proximité de la source, c'est-à-dire à moins de 10 cm, sont entachées d'une grande incertitude, donc douteuses. Elles confirment la difficulté, connue en électromagnétisme, liée à

la zone de champ proche de toute structure rayonnante et dont la résolution a fait l'objet de travaux de recherche. Il est probable que l'intensité de champ électrique soit en réalité plus élevée que les valeurs mentionnées (cf. fig. 4). Le doute pourrait être partiellement levé en ayant la possibilité d'utiliser un capteur de mesure moins perturbateur pour la grandeur à mesurer. Afin de lever le doute sur les mesures effectuées à proximité de la source, il serait judicieux, dans le cadre d'une étude plus approfondie, de mettre en œuvre d'autres moyens et notamment, la détermination de l'intensité de champ à l'aide du calcul numérique.

■ Les valeurs mesurées à partir de 10 cm sont comparables à celles données par un autre laboratoire ayant utilisé la même méthode de mesure [16]. Ces valeurs peuvent être extrapolées pour déterminer de façon approximative l'intensité de champ en zone de champ proche.

■ La comparaison des niveaux mesurés avec les valeurs limites dérivées d'exposition professionnelle préconisées par la norme [17] doit se faire en tenant compte

de la nature impulsionnelle du signal et de leur possible extrapolation à l'aide des courbes théoriques (cf. § 2.1 et 3.1).

La prochaine apparition de la téléphonie mobile par satellite conduit à s'interroger à nouveau sur le niveau d'exposition des utilisateurs, car les caractéristiques du rayonnement émis seront certainement différentes (densité de puissance émise vers l'utilisateur, fréquence).

■ Les mesures effectuées à l'aide d'un fantôme, complétées par une modélisation numérique, permettraient de déterminer plus précisément l'énergie absorbée par méthode calorimétrique et/ou à partir de l'intensité de champ électrique mesurée à l'intérieur du fantôme. Ce type de mesure est préconisé par un projet de norme européenne [4] et déjà mis en œuvre par des laboratoires concernés. Il faut cependant rappeler que le débit d'absorption varie en fonction de la nature des organes [18 à 20].

■ Ce mesurage a montré qu'il est possible de concevoir un portable différent, non muni d'antenne extérieure, dont la directivité avant/arrière permet d'atténuer de façon significative le niveau d'exposition de l'utilisateur. Ce résultat, atteint par réduction du rayonnement émis du côté de la « face clavier », n'affecte pas les performances radioélectriques.

Des recherches sur des antennes actives sont actuellement en cours [21]. Ces dernières seraient équipées d'un circuit électronique permettant de programmer leur diagramme de rayonnement. Il serait ainsi possible d'atténuer la densité de puissance surfacique émise en direction de la tête de l'utilisateur, sans pour autant réduire les performances radioélectriques.

■ Les mesures effectuées à plus grande distance dans le cadre des préoccupations de compatibilité électromagnétique montrent que l'intensité de champ est suffisamment intense pour avoir un pouvoir perturbateur sur les systèmes électroniques. Le caractère impulsionnel du signal émis par le portable contribue également à renforcer ce pouvoir perturbateur en particulier sur les circuits véhiculant des signaux numériques.

Il n'est pas surprenant d'avoir rencontré des cas de dysfonctionnements dus aux portables. Ces appareils sont souvent présents au cœur des sites industriels où sont implantés des systèmes électroniques potentiellement victimes des perturbations. Une procédure d'essai d'immunité au rayonnement quasi similaire à celui émis par le portable est préconisée par les

normes, mais elle ne concerne pas celui émis par les appareils DCS. Les essais d'immunité à cette fréquence nécessiteraient la mise en œuvre de moyens techniques supplémentaires au-delà de 1 GHz, qui est pour l'instant la fréquence limite supérieure des essais d'immunité. Néanmoins, ces normes prennent en compte l'apparition de cette nouvelle source de perturbation pour améliorer la compatibilité des systèmes électroniques, évitant ainsi d'appliquer le principe de précaution par interdiction formelle d'utilisation.

Compte tenu des résultats des mesures (fig. 4), une solution consistant à éviter l'utilisation du portable à moins de trois mètres, par exemple, de systèmes satisfaisant au niveau d'immunité préconisé par les normes, serait envisageable.

Il s'agit là d'un début de mise en place d'un dispositif de prévention que certains utilisateurs de systèmes automatisés souhaitent voir développer, en y incluant également le problème relatif aux systèmes dont la conception n'a pas intégré la CEM.

Il serait néanmoins pertinent d'étudier ce phénomène de façon plus approfondie lorsqu'il s'agit de systèmes électroniques relatifs à la sécurité des personnes.

L'auteur tient à remercier MM. J. WIART et D. LAFOLIE du CNET - France Télécom pour les informations techniques concernant la radiotéléphonie cellulaire

BIBLIOGRAPHIE

1. VUAILLE B. - Téléphones portables et santé : une étude internationale est lancée. *Le Quotidien du Médecin*, 7 janv. 1998, 6195, p. 8.
2. Le téléphone portatif sans danger pour la santé. *Travail et Sécurité*, juin 1995, p. 343 (Traduction d'un article paru dans *Research News - The National Institute of Occupational Health in Sweden*, 1995, 1).
3. Interaction of the body with the radio emissions from hand-held transceivers - IBREHT. Final report. Londres, Engineering and Physical Science Research Council / Department of Trade and Industry, coll. *Personal Communications Programme*, 1997, pp. 50-65 et 122-134.
4. SC211/B - Consideration for Human Exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the Frequency Range 30 MHz - 6 GHz. Bruxelles, CENELEC, févr. 1997, pp. 1-84.
5. DE SEZE R., MIRO L. - Effets sur la santé des radiotéléphones cellulaires. Synthèse des connaissances et des recherches en cours chez l'homme. *Documents pour le Médecin du Travail*, 1998, 73, pp. 31-34.
6. GAGNY C., PRIEUR G. - Stimulateurs cardiaques. Perturbations électromagnétiques en milieu professionnel. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1996, 162, pp. 55-64.
7. DANSOU J. - Repères : les applications de la CEM. *Les Ulis, REE*, juil. 1997, p. 64.
8. KLEIN R., CLAUZADE B. - Effets des perturbations électromagnétiques sur certains équipements. Risques liés aux dysfonctionnements. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1991, 142, pp. 5-20.
9. Communiqué de Presse du 2 octobre 1997. Paris, Commission de la Sécurité des Consommateurs (CSC), 1997.
10. WIART J., LAFOLIE D. - Caractéristiques radio-électriques du GSM (Extraits de la norme GSM). Issy-les-Moulineaux, CNET - France Télécom, 1998, pp. 3-9.
11. ZWISCHENBERGER R.M. - A short overview about GSM. *Communication personnelle*, 15 février 1997, pp. 1-13.
12. Les composants clé d'un GSM. *Electronique International Hebdo*, 4 déc. 1997, 287, pp. 20-22.
13. FRØLUND G., ANDERSEN J B - Integrated antennas for hand-held telephones with low absorption. In : 44th IEEE Conference on vehicular technology (10 juin 1994). Actes du colloque. Stockholm, 1994, vol. 3, pp. 1537-1541.
14. European SAR wars : marketing low radiation phones. *Microwave News*, 1997, 17, 5, p. 1 et p. 12.
15. DESPRES B., WIART J. - Applicabilité des textes normatifs aux télécommunications. *Les Ulis, REE* n° 5, mai 1997, pp. 95-97.
16. LAFOLIE D. - Analyse du rayonnement en champ très proche de radiotéléphones commerciaux. Issy-les-Moulineaux, CNET - France Telecom, n°5 RP/DMR/RMC/5083, /5084 et /5164, mai et sept. 1997, resp. pp. 1-13, 1-15 et 1-9.
17. C 18-610 (idem ENV 50166-2) - Exposition humaine aux champs électromagnétiques hautes fréquences (10 kHz à 300 GHz). Paris - La Défense, AFNOR, nov. 1995, 48 p. (Norme expérimentale).
18. MEIER K., EGGER O., SCHMID T., KUSTER N. - Dosimetric laboratory for mobile communication. In : 11th International Symposium and technical Exhibition on EMC. Actes du colloque. Zürich, mars 1995, pp. 297-300.
19. WIART J., ALTMAN Z., CHAILLOU S., WONG M.F., DALE C., TABBARA W. - Analyse dosimétrique des interactions RF avec les tissus biologiques. In : 9^e Colloque international et Exposition sur la CEM. Actes du colloque. Brest, juin 1998, pp. H1-H4.
20. AHLONSOU L.N., GRANGEAT C. - Normalisation liée aux interactions entre un téléphone portatif et son utilisateur. In : 9^e Colloque international et Exposition sur la CEM. Actes du colloque. Brest, juin 1998, pp. H5-H8.
21. CRYAN M.J., HALL P.S. - An integrated active circulator antenna. *IEEE Microwave and Guided Wave Letter*, 1997, 7, pp. 190-191.

ANNEXE I

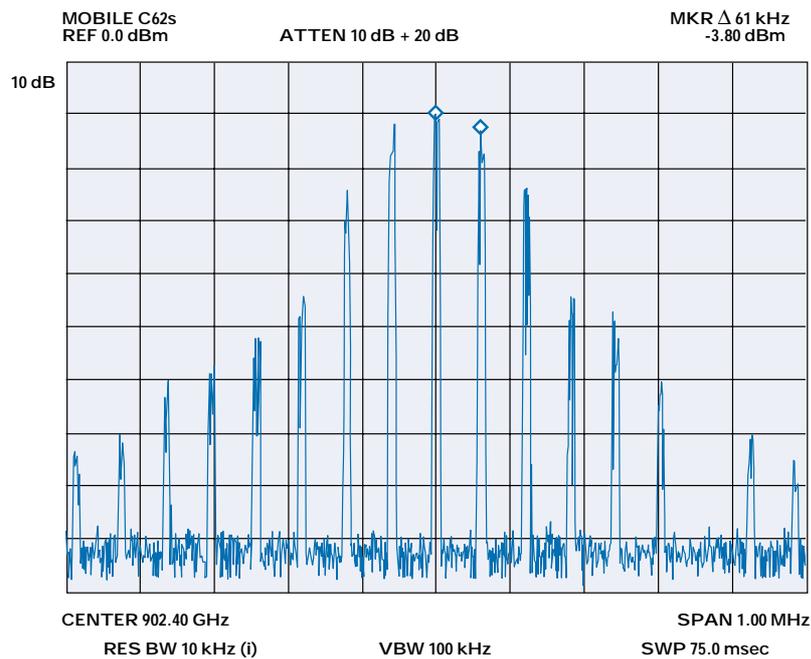
CARACTÉRISTIQUES RADIOÉLECTRIQUES ESSENTIELLES DU PORTABLE (CF. § 1.1)

TABLEAU AI-1

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES
DES NORMES GSM ET DCS 1800

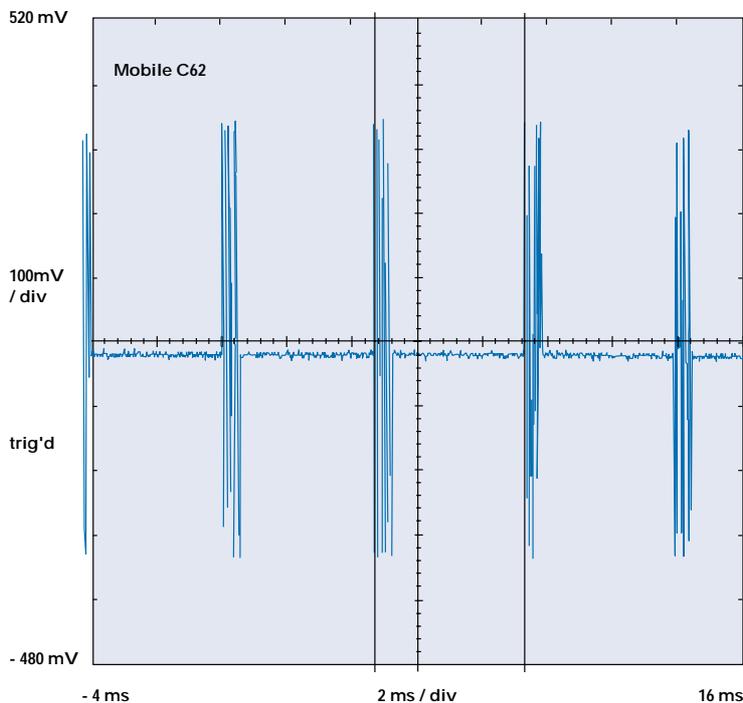
	GSM 900	DCS 1800
Bande de fréquence	Mobile vers station : 890-915MHz 1710-1785MHz Station vers mobile : 935-960MHz 1805-1880MHz	
Espacement entre canaux	200kHz	
Duplex	oui (FDD)	
Modulation	GMSK BT = 0,3	
Vitesse de modulation	270,833 kHz	
Largeur d'impulsion	577µs	
Fréquence de répétition	217Hz	
Puissance max. d'émission du mobile	2W	1W
Variation de la puissance	Par pas de 2 dB / dynamique 30dB min. 2mW min. 1mW	

Fig. AI-1. Spectre d'émission du mobile GSM canal 62 (902,4 MHz)



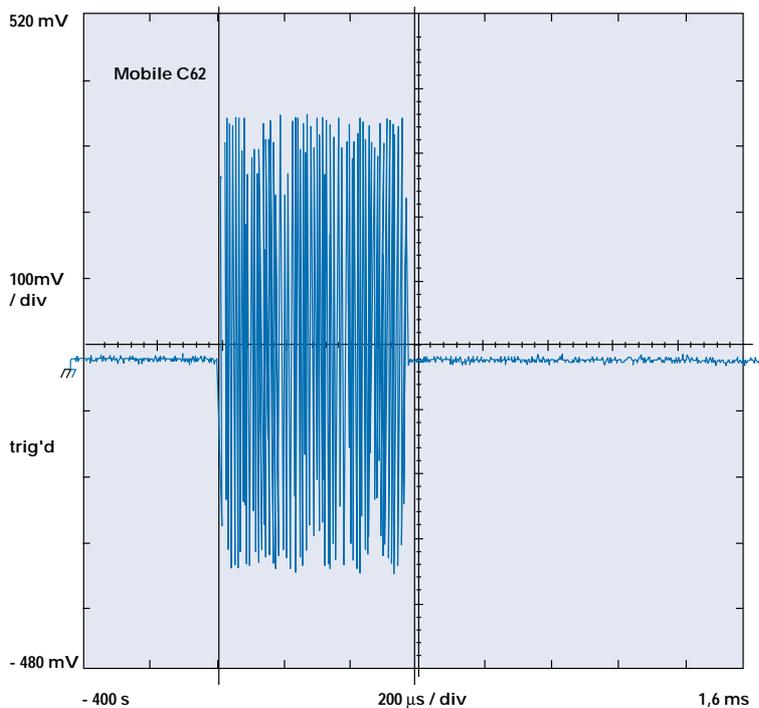
ANNEXE I (SUITE)

La figure AI-2 montre les impulsions à la fréquence de répétition 217 Hz, et la figure AI-3, la largeur d'impulsion GSM (mesurée : 580 μs, théorique : 577 μs).



Cursor type vertical bars t1 = 4.600 ms Cursor 1 : 4.600 ms
 t2 = 9.200 ms Cursor 2 : 9.200 ms
 t = 4.600 ms
 1/t = 217.4 Hz

Fig. AI-2. Visualisation du signal GSM dans le domaine temporel



Cursor type vertical bars t1 = 0.000 s Cursor 1 : 0.000 s
 t2 = 580.0 μs Cursor 2 : 580.0 s
 t = 580.0 μs
 1/t = 1.724 kHz

Fig. AI-3. Largeur d'impulsion du signal GSM

ANNEXE II

CONFIGURATION DES MONTAGES DE MESURE (CF. § 1.4)

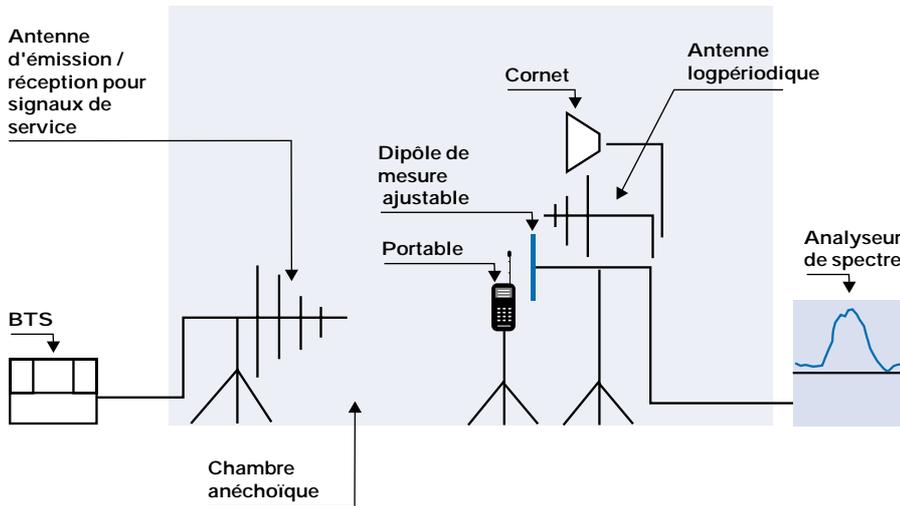


Fig. AII-1. Montage pour mesures GSM et DCS à différentes distances

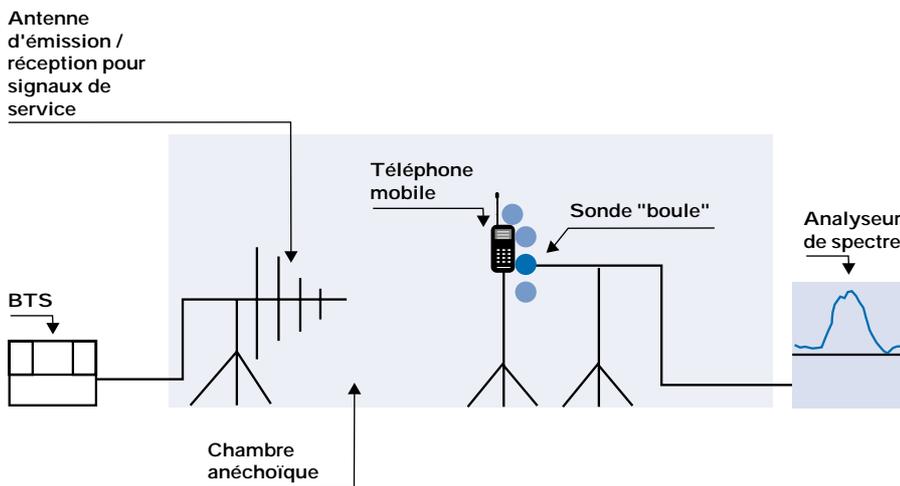


Fig. AII-2. Montage pour mesures GSM et DCS avec la sonde « boule »



ANNEXE III

PRINCIPE DU MESURAGE (CF. § 1.4)

A III-1. Schéma du montage de mesure

Cf. fig. AIII-1.

A III-2. Définition des unités utilisées

Intensité du champ électrique E :

[V/m] ou [dB μ V/m] avec :
$$E_{dB\mu V/m} = 20 \cdot \log (E_{\mu V/m} / 1 \mu V/m)$$
 (unités en indices) ;
Facteur d'antenne F [m⁻¹] ou [dB/m] avec :
$$F_{dB/m} = 20 \cdot \log [(1/kh) / 1 m^{-1}]$$

h = hauteur effective de l'antenne [m]

k = constante ;

Tension V [μ V] ou [dB μ V] avec :
$$V_{dB\mu V} = 20 \cdot \log (V_{\mu V} / 1 \mu V)$$

Pertes câbles P : sans dimension ou [dB]

avec : $P_{dB} = 10 \cdot \log (P_e/P_s)$
 P_e et P_s : respectivement, puissances à l'entrée et à la sortie du câble [W].

A III-3. Détermination de l'intensité de champ E

L'intensité de champ électrique E est donnée par la relation générale :

$$E [V/m] = F \cdot V \cdot P$$

Les grandeurs F, V et P sont généralement données en valeurs logarithmiques (dB_{xx}), d'où la relation :

$$E_{dB\mu V/m} = V_{dB\mu V} + F_{dB/m} + P_{dB}$$

(les indices représentent les unités)

$$\text{Or } E_{dBV/m} = E_{dB\mu V/m} - 120 \text{ dB}$$

$$\text{Donc } E_{dBV/m} =$$

$$V_{dB\mu V} + F_{dB/m} + P_{dB} - 120 \text{ dB}$$

$$\text{Ou } E_{V/m} = 10^{(E_{dBV/m}) / 20}$$

A III-4. Tension V donnée par l'analyseur de spectre

Elle dépend des paramètres de réglage de l'analyseur choisi.

Fréquence centrale et amplitude de fréquence

La fréquence centrale de l'analyseur de spectre est égale à celle du canal d'émission du mobile.

L'amplitude d'analyse fréquentielle (frequency span) est prise égale à 2 MHz. Cette valeur permet d'optimiser la vitesse de balayage tout en prenant en compte l'ensemble de composants du spectre.

Résolution en fréquence

La valeur V, donnée par l'analyseur de spectre, correspond à l'amplitude de la raie centrale à la fréquence du canal.

Compte tenu de la nature du signal à analyser (impulsionnel et modulé en phase, donc

Figure A III-1. Schéma de câblage des instruments de mesure

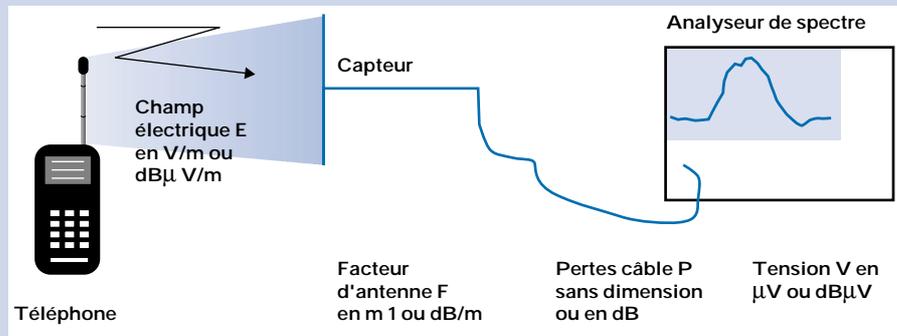


TABLEAU AIII-1

VALEURS DU FACTEUR D'ANTENNE POUR LES CAPTEURS UTILISÉS

Fréquence	Capteur	Facteur d'antenne (dB/m)
900 MHz	dipôle EMCO 3121 C DB4	28,1
	log-périodique EATON 96005	23,3
1750 MHz	dipôle ANRITSU MP 651B	33,6
	cornet EATON 96001	26,5

large bande), cette valeur dépend de la résolution de fréquence choisie.

La valeur maximale est donc obtenue pour la résolution maximale de l'analyseur, soit 300kHz.

Des mesures à des niveaux identiques indiquent la variation de la valeur maximale en fonction des résolutions 10, 30,100 et 300 kHz. La valeur maximale décroît fortement pour une résolution de 10kHz.

La différence est inférieure à 1,5 dB entre 30 et 300 kHz et 0,1 dB entre 100 et 300 kHz.

Pour les mesures, la résolution est fixée à 30 kHz. Il suffira donc de corriger à l'aide des valeurs ci-dessus (1,5 ou 0,1 dB), les résultats obtenus avec une résolution supérieure si des comparaisons sont effectuées avec d'autres laboratoires.

Atténuation d'entrée

La valeur dépend également de l'atténuation d'entrée de l'analyseur. Si cette dernière est trop faible, l'étage d'entrée est saturé ce qui provoque une diminution d'amplitude de la raie principale et l'apparition d'autres raies à des fréquences qui ne sont pas contenues dans le signal à mesurer (phénomène d'intermodulation). Une erreur de mesure significative est alors introduite. L'atténuation maxima-

le, soit 50 dB, est fixée pour les signaux les plus forts afin d'éviter tout phénomène d'intermodulation.

Valeur maximale

L'analyseur est utilisé en mode d'affichage mémorisé de la valeur maximale (max. hold) obtenue après plusieurs balayages en fréquence de la fenêtre d'analyse. Cela permet d'effectuer une succession de mesures pour une même configuration et de s'assurer ainsi que la valeur maximale a bien été relevée.

A III-5. Facteur d'antenne F

Il peut être directement donné par le constructeur du capteur après étalonnage ou calculé en fonction de son gain en puissance selon la formule ci-dessous, valable uniquement en champ lointain :

$$F_{dB/m} = 20 \log f_{MHz} - GdBi - 29,8$$

GdBi : gain en puissance du capteur par rapport au capteur isotrope.

Dans le cas d'un dipôle-onde, GdBi varie de 0,8 à 2,04 dB.

Le tableau AIII-1 donne les valeurs du facteur d'antenne pour les capteurs utilisés.

ANNEXE III (SUITE)

Le facteur d'antenne de la sonde « boule » n'est pas nécessaire car ce capteur n'est utilisé que pour des mesures relatives.

A III-6. Pertes câble

La figure A III-2 donne la valeur mesurée des pertes entre 800 MHz et 2 GHz. Cette valeur relativement élevée est due à la grande longueur du câble utilisé (R285 745 G + connecteurs N). Le câble doit permettre de déplacer le capteur de 0 à 3 m de la source de rayonnement sans avoir à en changer la longueur.

La mesure donne 2,5 dB à 900 MHz
3,8dB à 1750 MHz

AI.7. Détermination du canal de travail

La mesure de la variation du niveau d'émission en fonction du canal (niveau reçu par le capteur) est effectuée avec le dipôle en polarisation verticale.

Elle montre une variation sensible en fonction du canal. Par conséquent, les canaux 62 et 700 correspondant respectivement au milieu de bande GSM et DCS 1800 sont choisis pour tous les types de mesure.

Les fréquences d'émission et longueurs d'onde correspondantes sont :

GSM	canal 62 : 902,4 MHz
$\lambda = 33$ cm	
DCS 1800	canal 700 : 1747,8 MHz
$\lambda = 17$ cm	

Les limites de la zone de champ proche correspondante ($1/2p$ pour une source filaire) sont donc :

5,2 cm pour GSM	canal 62
2,7 cm pour DCS1800	canal 700

A III-8. Détermination du plan horizontal des points de mesure

Cf. fig. A III-3.

Les points de mesure sont situés dans un plan horizontal passant par le point où l'émissivité est maximale. Ce point est déterminé en déplaçant verticalement le dipôle à une distance de 2 cm de la face clavier du portable.

Cette détermination est confirmée par celle de la distribution du rayonnement sur les faces clavier (et dos pour portable G3) à l'aide de la sonde « boule » (voir § 6.1).

Il en résulte que le point de rayonnement maximal correspond sensiblement au milieu de l'antenne (sortie ou rentrée) pour les appareils qui en sont munis.

Pour le portable G3 sans antenne extérieure, les points se situent selon le schéma représenté fig. A III-4.

Figure A III-2. Pertes câble [dB] entre 800 MHz et 2 GHz

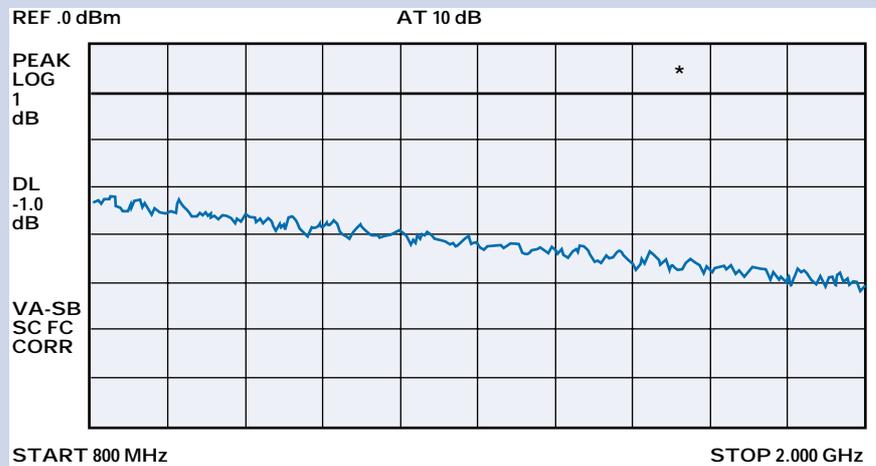


Figure A III-3. Plan horizontal des points de mesure

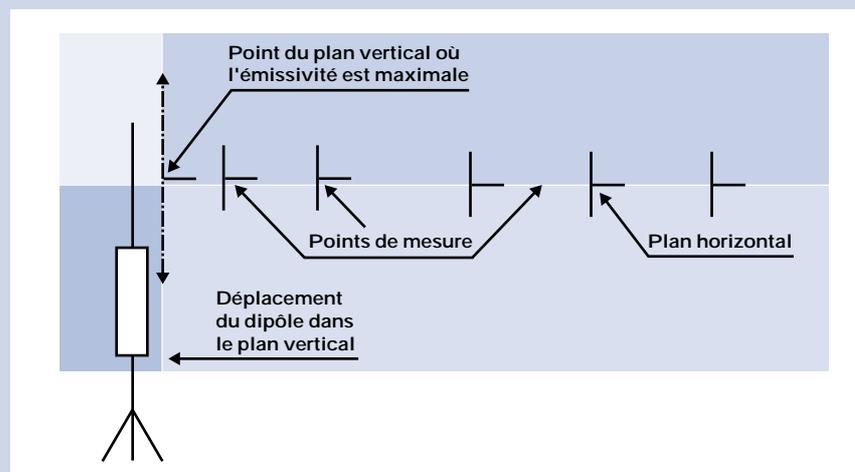
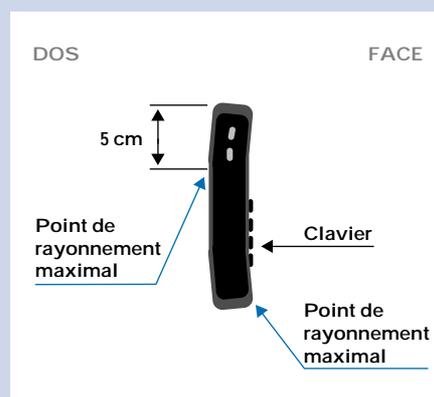


Figure A III-4. Points d'intensité de rayonnement maximale : portable G3



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part des Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail, 3^e trimestre 1999, n° 176 - ND 2112 - 1 200 ex.
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-0833-0