



ANALYSE DE L'EXPOSITION REELLE DES MOBILES 3G

Azeddine GATI* - Man Fai WONG* - Joe WIART*.

(*) France Télécom Division R&D, RESA:FACE. 38-40, rue Général Leclerc. 92794. Issy Les Moulineaux. Email: {azeddine.gati;manfai.wong;joe.wiart}@orange-ftgroup.com

Résumé. Cette étude porte sur l'analyse de l'exposition réelle des personnes due aux émissions des téléphones 3G pour des usages typiques. Cette analyse se base sur un formalisme statistique permettant d'étudier l'influence de certains facteurs tels que le modèle du mobile ou le paramétrage du réseau sur les puissances émises et reçues et donc sur l'exposition des personnes.

I. INTRODUCTION

Les normes européennes et mondiales actuelles permettant de vérifier la conformité des appareils de radiocommunication aux limites de protection des personnes [1] par rapport aux ondes radio sont basées sur une approche conservatrice et maximaliste. Les téléphones mobiles sont par exemple testés en situation d'émission maximale (puissance maximum) afin de vérifier la conformité en termes de DAS (débit d'absorption spécifique) aux limites internationales. Ces procédures sont normalisées et elles sont appliquées dans des laboratoires permettant de maîtriser les émissions et de minimiser l'incertitude. L'objectif est de donner des résultats fiables, reproductibles et protectionnistes.

Cette approche, bien qu'elle soit conservatrice et donc rassurante vis-à-vis du grand public ne donne pas une indication claire et caractéristique de l'exposition des personnes en situation réelle. En effet, si les mesures de DAS donnent une valeur maximum par définition, elle ne reflète pas l'exposition réelle ni l'aspect variable au cours du temps des puissances mises en jeu. Si tous les mobiles mis sur le marchés sont conformes, l'exposition est quand à elle très liée aux conditions d'utilisation, à l'environnement et aux caractéristiques du réseau cellulaire.

La variabilité de l'environnement et des conditions d'utilisation a longtemps été considéré comme un frein à ce type d'étude car naturellement la question de la représentativité se pose. Cependant, l'utilisation des outils statistiques permet de s'en affranchir et on voit aujourd'hui un foisonnement de publication dans ce domaine avec des résultats très convergents. Cependant, bien souvent, les publications dans ce domaine se limitent à extraire des quantités statistiques telles que la moyenne, l'écart type ou les quantiles pour caractériser une série de mesures relativement à un lieu donné.

Ce papier s'articule autour de la technologie 3G – UMTS (Universal Mobile telecommunication service). La technique 3G basée sur le mode d'accès CDMA (code division multiple access) est de plus en plus utilisée par le grand public pour les performances qu'elle offre en termes de débit. Le CDMA utilise une technique rapide de contrôle de la puissance émise qui se fait à une vitesse de 1500Hz, à comparer par rapport au GSM où le contrôle de puissance est fait au maximum à 16.6 Hz [2] (une fois tous les 60 ms).

L'étude porte sur la puissance émise (Tx) et reçue (Rx) au cours d'une communication réelle. On s'intéresse tout particulièrement à l'influence de certains facteurs tels que le type du mobile, le paramétrage du réseau et le service utilisé (voie, visiophonie, data...).

Le grand challenge de type d'étude est d'établir à partir de mesures aléatoires un modèle statistique de distribution grâce auquel on peut comparer des phénomènes et d'extraire l'influence des facteurs étudiés.

II. Modèle de répartition statistique

Les mesures sont récoltées avec des mobiles à traces reliés à un ordinateur de contrôle. Les mesures sont stockées toutes les 0.5s à cause de délais de traitement du logiciel de contrôle. Pour chaque série de mesure nous avons représenté la fonction probabilité de distribution (PDF en anglais) et la distribution cumulative (CDF en anglais).

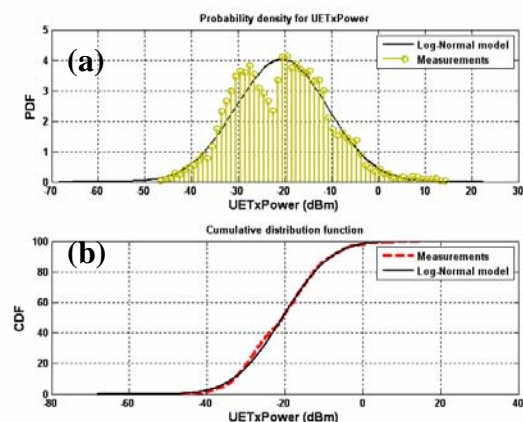


Fig 1- Modèle statistique puissance Tx/Rx mobile 3G

La Fig 1a montre une distribution typique de nos mesures. La distribution de puissance en valeurs logarithmiques suit une loi gaussienne. On constate aussi que la probabilité d'émettre à puissance maximum (21dBm pour les téléphones 3G type4) est très rarement atteinte. La Fig 1b montre que la distribution cumulative suit une loi log-normale dont la moyenne et l'écart type correspondent à ceux des échantillons logarithmiques de la puissance.

III. Mesure de l'efficacité des mobiles

Les mobiles utilisés ont été mesurés en termes de puissance rayonné afin de quantifier leur efficacité en espace libre et en présence d'un fantôme de tête humaine et avec la main. Les fantômes ont été rempli d'un liquide équivalent large bande afin de permettre une mesure aux fréquences d'intérêt.

Tableau. 1. Efficacité des mobiles

	Mobile1 (Samsung Z170)	Mobile2 (Samsung I600)
Handset alone		
Radiated power dBm	22.54 dBm	21.81
Maximum Power	24 dBm	24 dBm
Efficiency (%)	71.5%	60.4 %
Handset with hand and head		
Radiated power dBm	12.92 dBm	14 dBm
Efficiency (%)	7.8%	10 %
Body loss	9.6 dB	7.8 dB

Ce tableau montre que les pertes du mobile en espace libre est de l'ordre de 1.5dB à 2.2dB et que le body loss induit une puissance absorbé de l'ordre de 90% (seulement 10% de la puissance est réellement émise).

IV. Influence de l'échantillonnage

Dans ce paragraphe, nous avons étudié l'erreur sur les estimateurs statistiques tels que la moyenne, la médiane et le max à 90% des mesures. Cette étude nous a permis de quantifier l'incertitude sur les indicateurs statistiques afin de pouvoir comparer des distributions entre elles. La Figure 3 donne la variation de l'estimation de la moyenne, la médiane et le maximum de @90% en fonction de la fréquence d'échantillonnage. La meilleure valeur (erreur nulle) est considérée comme étant celle obtenue avec un taux d'échantillonnage de 100%. L'évaluation de chaque estimateur est calculée au hasard sur les 100 premiers échantillons pour éviter d'évaluation sur les mêmes échantillons.

Cette figure indique que, selon le taux d'échantillonnage, l'estimation de la médiane est plus précise que celui de la moyenne ou le maximum @ 90% car la médiane oscille autour de la meilleure valeur indépendamment de l'échantillonnage.

Fig 3 montre l'incertitude de l'estimation des indicateurs extraite des différents taux d'échantillonnage. Cette figure montre que l'erreur d'estimation de l'indicateur de la médiane est inférieure à 3 dB à 100% des cas.

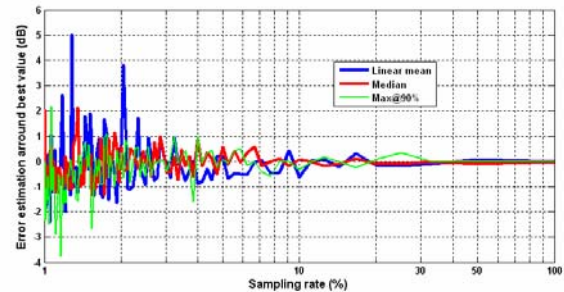


Fig 2 – Influence de l'échantillonnage sur les indicateurs statistiques

D'autre part, la moyenne log (ou la médiane) est stable quelque soit la finesse de l'échantillonnage alors que la moyenne linéaire puisqu'elle ne dépend que des valeurs hautes est très sensible à l'échantillonnage.

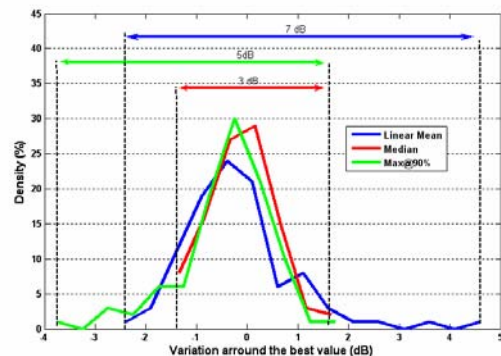


Fig 3 – Incertitude sur l'estimateur de la moyenne, de la médiane et du max@90%

En conclusion, les traces de mesures sont caractérisées par une distribution log-normale. Deux distributions log-normales peuvent être comparées si leurs écarts-types sont identiques. Dans ce cas, tous les indicateurs statistiques comme la moyenne, la médiane et le maximum à 90% sont uniformément décalés. Le décalage (déviation) caractérise la différence entre deux traces et, par conséquent, l'influence du facteur étudié. Toutefois, les mesures in-situ sont biaisées par de multiples facteurs (environnement local, taux d'échantillonnage, système de mesure, etc ...) qui ont une incidence sur le calcul des indicateurs statistiques. Il a été démontré que l'estimation de l'indicateur de la médiane est moins influencée par les problèmes d'échantillonnage. Cet indicateur sera donc utilisé pour comparer deux distributions, à la condition d'avoir le même écart-type. Toutefois, l'exposition ne peut être évaluée qu'au travers de la valeur moyenne linéaire.

V. I. influence du service

L'influence du service utilisé a été étudiée en comparant les distributions des puissances émises.

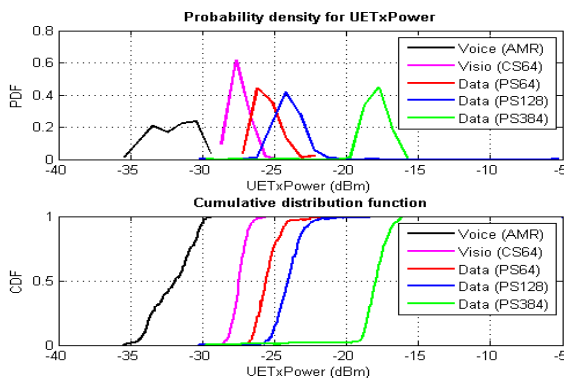


Fig 4 –Influence du service sur la puissance émise par le mobile.

Le tableau suivant montre les résultats obtenus par rapport au service voix. On constate que la variation de la puissance émise est proportionnelle au débit.

Tableau. 1. Comparaison entre services par rapport au service voix

Indicateur	Voie	Visio CS64	Data PS64	Data PS128	Data PS384
	Circuit		Packet		
Moyenne	0 dB	4 dB	6 dB	7 dB	14 dB

VI. Influence du bodyloss

Dans cette section, l'influence des pertes dues à la présence de la personne (puissance absorbée par la tête) est étudiée.

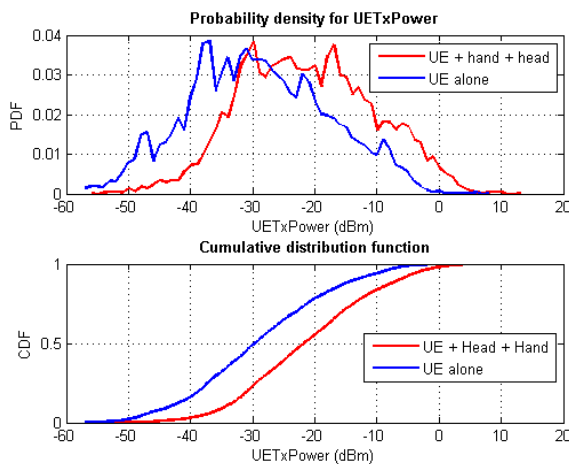


Fig 5 – comparaison du Tx d'un mobile pour deux réseaux 3G

Les mesures sont effectuées avec deux équipements identiques (UE : User Equipment en anglais) connectés au même réseau 3G. L'un des deux appareils est positionné avec des fantômes d'une main et d'une tête, tandis que le second (de référence) est

positionné de façon symétrique sans aucun fantôme. Les mesures sont effectuées dans une zone urbaine en voiture.

Les résultats montrent que le bodyloss (pertes par absorption) mesuré en comparant les deux distributions est d'environ $8 \text{ dB} \pm 1.5 \text{ dB}$ (déviation de la valeur médiane). Ce résultat corrobore les résultats obtenus à partir des mesures en laboratoire de l'efficacité en présence des fantômes évalué à 9,6 dB.

Indicateur	UE + Head + Hand	UE espace libre	Body Loss (Insitu)	body loss (Lab)
Moyenne	-10 dBm	-16 dBm	6 dB ($\pm 3.5 \text{ dB}$)	
Médiane	-21 dBm	-29 dBm	8 dB ($\pm 1.5 \text{ dB}$)	
Secart type	11 dB	12 dB		9.6 dB
max@90%	-6 dBm	-13 dBm	7 dB ($\pm 2.5 \text{ dB}$)	

VII. Comparaison des puissances émises entre des milieux extérieurs et intérieurs

Cette section donne une vue globale de l'exposition locale due à des émissions de mobile 3G pour des environnements différents. Toutes les mesures ont été traitées en utilisant le même modèle de mobile afin de permettre la comparaison des niveaux de puissance dans différents milieux. Les mesures sont recueillies à partir de deux réseaux WCDMA. Les téléphones mobiles ont été portés sur le corps afin de restituer les puissances émises dans des conditions réelles d'utilisation. .

Quatre milieux ont été identifiés:

- Extérieur - petite ville: les mesures ont été effectuées dans les petites villes, dans une région de 100 km autour de Paris.
- Extérieur - grande ville: les mesures ont été effectuées dans la ville de Paris.
- Intérieur - mairies: les mesures ont été réalisées dans 6 différentes mairies et des bâtiments privés à Paris.
- Intérieur – centres commerciaux: les mesures ont été effectuées dans différentes grandes surfaces et dans des gares autour de la ville de Paris.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant:

Indicateur	Extérieur Grande ville	Intérieur Mairies	Intérieur (Centres com.)
Moyenne	0.2 mW	1.1 mW	5 mW
Moyenne/max	30dB	23 dB	17 dB
Médiane	0.003 mW	0.05 mW	0.001 mW
Max@90%	0.1 mW	2.3 mW	2 mW
Ecart type (Log)	12 dB	13 dB	18 dB

VIII. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons étudié la variation de puissances émises et a reçues pour les services 3G-WCDMA. L'influence de certains facteurs sur les niveaux de puissance ont été analysés et quantifiés. Le tableau suivant illustre les principales conclusions. Néanmoins, des précautions doivent être considérées quand à la représentativité et à la diversité des mesures.

	Moyenne	Max@90%	Moyenne /max
<i>Incertitude</i>	± 3.5 dB	± 2.5 dB	
Urbain	0.2 mW	0.1 mW	31 dB
Rural	0.4 mW	0.25 mW	28dB
Indoor	1.1 mW	2.3 mW	23 dB
Indoor - Market centers	5 mW	2 mW	17 dB
Incar -Urbain	0.15 mW	0.1 mW	32 dB
Autoroute	0.3 mW	0.3 mW	29 dB

Cette première analyse nous a permis de mettre en place la procédure statistique et d'en extraire des observables fiables. Nous avons en effet mis en valeur l'influence importante de certains facteurs sur

l'exposition instantanée des utilisateurs même si globalement, les puissances réellement mise en jeu sont très en dessous des valeurs maximales à cause du contrôle de puissance rapide utilisé en CDMA.

La moyenne réelle de l'exposition due à la puissance émise dans le WCDMA est de 20 dB en dessous du max, ce qui est très faible, comparativement à la 2G où la puissance moyenne émise est d'environ 3 à 6 dB inférieur au maximum.

L'exposition intérieur (Indoor) induit environ 10 dB d'augmentation de la puissance émise comparativement à l'exposition en extérieur (Outdoor) ce qui confirme la faible pénétration des ondes aux fréquences UMTS.

L'exposition en milieu rural est de 3 dB supérieur à l'exposition en urbaine en termes de valeur moyenne qui peut être reliée à la densité des stations de base.

Les utilisations multimédias ont besoin d'une importante augmentation de la puissance émise par rapport à un appel vocal. 14 dB d'augmentation a été observée pour un débit de 384 kbit / s, comparativement à un appel vocal 12kbps. Toutefois, l'extrapolation de ce résultat à l'exposition devrait prendre en compte le positionnement de l'appareil par rapport à la personne, puisque l'exposition à un mobile pour la position voix est supérieure de 12 dB lorsqu'elle est placée à 10 cm devant (position data).

Facteur	Influence	Commentaire
Indoor /Outdoor	5-10 dB	L'exposition en milieu intérieur est plus grande et plus hétérogène qu'en extérieur
Rural/ Urban	3 dB	Dépend de la densité des antennes
Static/moving	1-2 dB	La vitesse induit une augmentation de l'écart type entre les échantillons de puissance
Body loss (in lab)	9dB	90% de la puissance émise est absorbée par le corps
Body loss (insitu)	8 dB	
Service		La puissance moyenne est proportionnelle au débit.
Visio CS64 / Voice	+4 dB	
Data PS64 / Voice	+6 dB	
Data PS128 / Voice	+9 dB	
Data PS384 / Voice	+14 dB	
Paramétrage réseau	1 dB	Pas d'influence significative au vu des incertitudes

IX. REFERENCES

- [1] "ICNIRP Guidelines," *Health Phys.*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, Apr.1998.
- [2] J. Wiart et al, 'Analysis of the Influence of the Power Control and Discontinuous Transmission on RF Exposure with GSM Mobile Phones, *Trans. On EMC*, VOL. 42, NO. 4, NOV 2000, PP. 376-385.
- [3] T. Persson, L. Hamberg, C. Törnevik, *Measured output power distribution for 3G WCDMA mobile phones. Bioelectromagnetics 2005 Proceeding PP 473, Dublin, Ireland.*
- [4] S Lönn, U Forssén, P Vecchia, "assessment geographical areas; implications for exposure Output power levels from mobile phones in different. *Occup Environ Med* 2004;61:769-772. doi: 10.1136/oem.2003.012567. <http://oem.bmjournals.com/cgi/content/full/61/9/769>