

Exposition du grand public aux radiofréquences en France

Radiofrequency exposure in the French general population

Dragan Jovanovic, Sébastien Chauvin*, Jean-Philippe Desreumaux**

**Bouygues Telecom, djovanov@bouyguestelecom.fr*

Mots-clefs : Exposition, RF, petites antennes
Exposure, RF, small cells

1. Résumé

La question de l'exposition réelle des populations aux antennes relais de téléphonie mobile est régulièrement posée. Des réglementations parfois différentes en matière de niveau d'exposition incitent à comparer les données disponibles et publiées. Par ailleurs la question des microcellules (petites antennes) dont certains évoquent l'intérêt pour réduire les expositions, impose d'évaluer les caractéristiques d'exposition induite par ces technologies.

Suite au Grenelle des Ondes, la France a lancé une vaste étude sur les expositions dans le cadre du COMOP¹, qui a l'intérêt non seulement de réunir toutes les parties prenantes, mais également d'exploiter au plan scientifique et technique les meilleurs outils de simulations et de mesures disponibles. Ces travaux ont été conduits sur des villes caractérisant des environnements variés en France.

Ce poster a pour objectif de présenter à la communauté scientifique quelques résultats obtenus par le COMOP (exposition de la population et conséquences d'une baisse de la puissance des antennes sur la couverture) afin de les comparer aux données publiées dans d'autres pays. Et diffuser quelques données caractéristiques liées à l'exposition des microcellules.

2. Introduction

La question de l'exposition réelle des populations aux antennes relais de téléphonie mobile est régulièrement posée. Des réglementations parfois différentes en matière de niveau d'exposition incitent à comparer les données disponibles et publiées. Par ailleurs la question des microcellules (petites antennes) dont certains évoquent l'intérêt pour réduire les expositions, impose d'évaluer les caractéristiques d'exposition induite par ces technologies.

Suite au Grenelle des Ondes, la France a lancé une vaste étude sur les expositions dans le cadre du COMOP¹, qui a l'intérêt non seulement de réunir toutes les parties prenantes, mais également d'exploiter au plan scientifique et technique les meilleurs outils de simulations et de mesures disponibles. Ces travaux ont été conduits sur des villes caractérisant des environnements variés en France.

Ce poster a pour objectif de présenter à la communauté scientifique quelques résultats obtenus par le COMOP (exposition de la population et conséquences d'une baisse de la puissance des antennes sur la couverture) afin de les comparer aux données publiées dans d'autres pays. Et diffuser quelques données caractéristiques liées à l'exposition des microcellules.

3. Exposition du grand public

Le COMOP a scindé sa démarche en trois phases. La première phase consiste à faire un état des lieux sur l'exposition et la couverture des réseaux de téléphonie mobile, en employant différents moyens : Dosimètres personnels, mesures sélectives, à la sonde large bande, à l'analyseur de spectre et système de monitoring pour les mesures de l'exposition, simulations par lancer de rayons² pour la modélisation de l'exposition dans la rue et sur les façades des immeubles, et simulations numériques³ pour l'évaluation des couvertures réseaux.

¹ COMOP : Comité Opérationnel, groupe mis en place par le gouvernement pour réaliser des études sur l'exposition aux antennes

² Méthode asymptotique

³ Outil de planification des réseaux mobiles, outil de propagation statistique des ondes

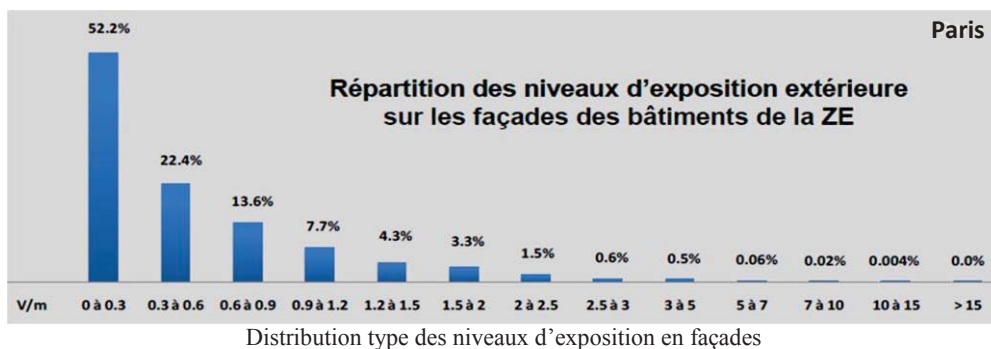
Une seconde phase consiste à évaluer par le biais de simulations numériques les conséquences d'une réduction des niveaux d'exposition (à 0,6V/m notamment) obtenue grâce à une baisse des puissances d'antennes afin d'en évaluer l'impact sur la couverture du territoire, la qualité de service rendu aux usagers et le nombre d'antennes relais nécessaires.

Une troisième phase consiste à vérifier par l'expérimentation terrain les conséquences d'une baisse de l'exposition sur la qualité de service rendu aux usagers (février 2012).

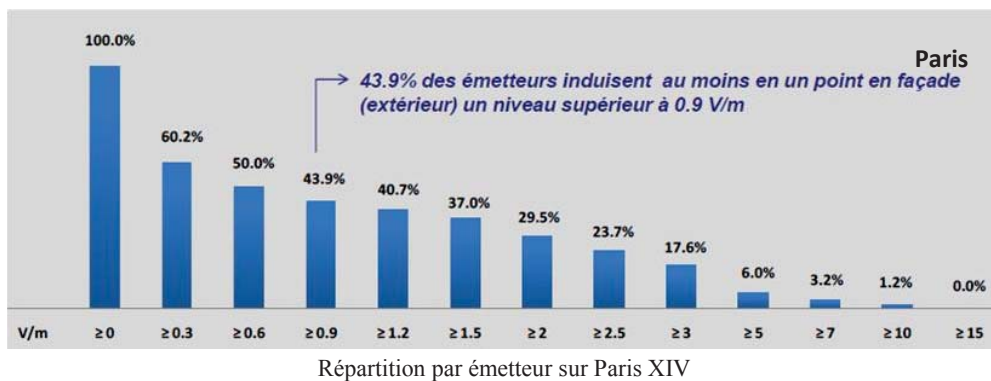
L'analyse présentée ici s'appuie sur des résultats techniques obtenus entre juillet 2009 et septembre 2011⁴, portant sur les deux premières phases.

3.1. Première phase du COMOP : Résultats partiels

L'exploitation des premiers résultats exprimés notamment par le Communiqué de presse du 8 février 2011⁵ et le Rapport⁶ de la première phase du Président du COMOP, donne une évaluation de l'exposition des français. Elle montre que l'exposition aux antennes-relais est globalement extrêmement faible comparée aux seuils en vigueur (entre 41V/m et 61V/m) : Le niveau médian d'exposition en façade simulé est inférieur à 0,3 V/m.



Cette exposition modélisée est l'exposition maximale théorique. Elle est calculée en faisant l'hypothèse que tous les émetteurs fonctionnent en même temps à puissance maximale et sans dispositif de contrôle des puissances. Elle est modélisée au niveau du sol et en façade extérieure des bâtiments. Dans les communes très denses comme Paris XIV et Courbevoie, pour 90% du sol ou des façades de bâtiment, cette exposition est inférieure à 1,2 V/m. Elle est inférieure à 0,9 V/m dans les communes denses (Grenoble). Elle est inférieure à 0,3 V/m dans les communes rurales et peu denses (Kruth, Grand Champ et Thiers).



Il est à noter que pour ces gammes d'exposition très faible (1.2 V/m, 0.9 V/m, 0.3 V/m), un grand nombre d'émetteurs provoque en façade au moins un point supérieur à ces gammes. A titre d'exemple sur Paris XIV, 40,7% des émetteurs induisent au moins en un point en façade un niveau supérieur à 1.2 V/m (Cf Répartition par émetteur sur Paris XIV).

Dans les communes très denses (Paris, Courbevoie), quelques points ont des niveaux d'exposition plus importants pouvant aller jusqu'à 15,4 V/m simulé en façade. Ces points, très localisés, sont liés à la proximité immédiate d'une antenne de station de base face à un étage élevé d'un immeuble et situé en vue directe de l'antenne.

⁴ Concernant plus particulièrement le COMOP, les résultats présentés résultent de l'exploitation par les auteurs de données partielles, issues d'enregistrements dosimétriques réalisés par l'INERIS, et non consolidées par le COMOP-COPIC.

⁵ Communiqué de presse du Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, du mardi 8 février 2011 « Radiofréquences : Résultats de la 1ère phase d'expérimentation sur 6 communes pilotes »

⁶ Rapport de la première phase par François Brottes, Président du COMOP, volet « expérimentations » « Concertation et information locales dans le cadre de l'implantation d'antennes relais Diminution de l'exposition aux ondes électromagnétiques émises par les antennes relais de téléphonie mobile » du 30 août 2011.

Comme toute modélisation, les résultats de ces simulations en façade sont affectés d'une incertitude, variant pour l'incertitude étendue à 95%, de 4dB à 15dB suivant le type de champ⁷. Les mesures sur site, sélectives en fréquence, sont aussi associées à une incertitude⁸. En un même point d'analyse, des différences assez importantes peuvent être relevées dans un sens comme dans l'autre, par exemple :

Villes	Point simulé (V/m)	Point mesuré (V/m)
Courbevoie	1.33	8.06
Courbevoie	6.80	0.55
Paris XIV	4.76	0.48
Paris XIV	1.34	0.33

Pour les niveaux d'exposition plus faibles, des écarts plus importants peuvent exister du fait des incertitudes de simulations qui augmentent.

3.2. Deuxième phase du COMOP

Début mai 2011, les premiers travaux de simulation d'une baisse de puissance ont été réalisés en visant des expositions maximales inférieures à 1V/m. Dans les zones rurales et peu denses, du fait de l'extrême faiblesse des expositions (plus de 99% des surfaces de façades et du sol sont inférieurs à 1V/m dans l'état initial simulé) et des incertitudes associées, la baisse d'exposition induirait des variations faibles, difficilement discernables, et vraisemblablement avec peu de sens statistique.

Ce travail de simulation de baisse globale de puissance a été réalisé dans 3 villes : Grenoble (valeur limite testée: 0,6 V/m), Paris XIV (0,6 V/m et 1 V/m) et Grand-Champ (0,6 V/m). Dans ces trois expérimentations, les résultats montrent une très forte dégradation de la couverture voix 2G à l'intérieur des bâtiments d'au moins 50% par rapport à la situation avant abaissement de puissance. En ce qui concerne la 3G, les résultats sont similaires ou pires. Il est important de noter que ces travaux se basent exclusivement sur des simulations, et qu'une mise en œuvre en situation réelle, du fait des écarts constatés entre mesures et simulations durant la première phase du COMOP, ne garantirait pas, en tout point de la zone concernée, le respect de la valeur limite testée.

3.3. Rapprochement avec différentes Publications scientifiques

L'évaluation de l'exposition du grand public aux champs radiofréquences a fait l'objet depuis une dizaine d'années de nombreux travaux en Europe et en France, notamment par des mesures sur site (normatives) et des mesures avec dosimètres personnels. On peut noter particulièrement les travaux de Viel et al. en France [1] [2], Frei et al. en Suisse [3], Joseph et al. aux Pays-Bas, Slovaquie, Hongrie et en Belgique [4], qui ont fait porter des dosimètres sélectifs en fréquences par de nombreux individus pendant des périodes allant d'une à plusieurs journées, dans des zones urbaines, suburbaines et rurales. Ces études donnent pour les différents types d'émetteurs, dont les réseaux de téléphonie mobile, des informations sur différents indicateurs d'exposition, dont les valeurs moyennes d'exposition personnelles.

En ce qui concerne le COMOP, la première phase d'étude consistait à faire une évaluation de l'exposition réelle des français sur la base de plusieurs techniques : une modélisation des champs électromagnétiques et une mesure de l'exposition avec différents systèmes de mesures dont les dosimètres personnels, coordonnée par l'INERIS⁹ ; Deux modèles de dosimètre sont employés : SATIMO EME SPY 121 et 140. Ils permettent respectivement de détecter des niveaux de champs à partir de 0.05 V/m et 0.005 V/m. Du fait que les valeurs de champ électrique inférieures à ces seuils ne sont pas mesurées mais qu'ils représentent une grande proportion des mesures (environ 80%), il a été décidé de remplacer les valeurs non renseignées par les niveaux minimaux de détection¹⁰ (Approche de « pire cas »). Différents environnements ont été étudiés tels que le milieu urbain, périurbain, rural dans les villes de Grenoble, Grand Champ, Kruth, Thiers, Courbevoie, Paris XIV, Brest et Cannes.

Pour mesurer l'exposition totale des personnes au cours de la journée en déplacements, des dosimètres individuels sont confiés à 14 personnes vivant dans un PPE¹¹. L'exposition moyenne des individus tous milieux confondus, urbain, périurbain et rural est respectivement de 0.323 V/m, 0.450 V/m, 0.278 V/m et 0.219 V/m.

⁷ Ces incertitudes proviennent des données d'entrée, de la modélisation de la géométrie, de la méthode de propagation. Champ direct : 4,2dB ; champ réfléchi : 11,8dB ; champ diffracté : 15dB.

⁸ Environ 4dB

⁹ Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Chef de projet : Dr R. De Seze.

¹⁰ Approche proposée par Roosli et al. « Naïve »

¹¹ PPE : « Point Particulièrement Exposé ». Le travail de modélisation de l'exposition (théorique maximisée) permet d'identifier dans chaque zone d'expérimentation (« ZE ») les dix endroits théoriquement les plus exposés en façade, servant par la suite à l'INERIS comme lieux de mesure réalisés à l'intérieur. Il est important de signaler que l'INERIS ne bénéficie pas toujours de l'emplacement le plus exposé défini par la modélisation pour leurs mesures, faute d'autorisation d'accès. Dans ce cas l'INERIS prend un point de mesure plus éloigné ne représentant plus forcément un point particulièrement exposé (PPE).

En employant des dosimètres identiques, dans différents milieux de Lyon et Besançon, *Viel et al.* ont déterminé l'exposition moyenne tous milieux confondus, urbain, périurbain et rural, respectivement de 0.201 V/m, 0.231 V/m, 0.201 V/m et 0.156 V/m. L'exposition moyenne est proche de celle trouvée dans le cadre du COMOP en utilisant la méthode dite « naïve ».

Les fichiers de 7 personnes vivant dans un PPE qui ont porté un dosimètre individuel pendant 1 semaine nous donnent les résultats suivants : l'exposition totale moyenne tous milieux confondus, urbain, périurbain et rural est respectivement de 0.333 V/m, 0.459 V/m, 0.256 V/m et 0.222 V/m.

En employant des dosimètres identiques, dans différents milieux de Lyon et Besançon, *Viel et al.* ont évalué à 0.209 V/m l'exposition moyenne sur une semaine tous milieux confondus. De même, *Frei et al.* ont mené une étude d'exposimétrie dans la ville de Bâle et ont évalué l'exposition moyenne sur une semaine dans un milieu urbain à 0.220 V/m. L'exposition moyenne trouvée lors des premiers travaux du COMOP en utilisant la méthode dite « naïve » est proche de celle trouvée par *Viel et al.* et *Frei et al.*

En prenant en compte l'indicateur d'exposition « valeur moyenne » déterminé à partir des relevés d'exposimétrie individuelle, l'exposition des personnes ayant leur domicile proche d'un PPE ou dans un PPE reste extrêmement faible comparé aux seuils en vigueur, et est du même ordre de grandeur que celle des autres personnes.

Pour évaluer l'exposition moyenne dans les zones de circulation extérieures, l'INERIS a fait des mesures géoréférencées dans les rues à l'aide d'un dosimètre individuel fixé sur un véhicule. L'exposition moyenne en milieu urbain, périurbain et rural est respectivement de 0.418 V/m, 0.109 V/m et 0.050 V/m.

Dans un milieu urbain à l'extérieur, *Joseph et al.* ont déterminé les niveaux d'exposition moyens dans différents pays européens comme la Belgique, la Slovaquie et les Pays-Bas respectivement de 0.374 V/m, 0.463 V/m et 0.422 V/m. L'exposition moyenne trouvée lors du COMOP en utilisant la méthode dite « naïve » est très proche de celle trouvée par *Joseph et al.*

Les voies de circulation extérieures situées dans une zone d'expérimentation, ne semblent pas plus exposées que les autres voies de circulation.

3.4. Mesures

Des mesures in situ ont été effectuées sur 58 PPE¹² différents, à l'aide d'un analyseur de spectre et d'une antenne calibrée, sur les bandes de téléphonie mobile downlink¹³. Il peut être intéressant de comparer les valeurs maximales de champs obtenus à différentes « valeurs cibles » fixées en Europe pour certains émetteurs fixes. En Belgique, l'Arrêté du Gouvernement de Bruxelles-Capitale, fixant la méthode et les conditions de mesure du champ électromagnétique par certaines antennes (08 octobre 2009), le champ électrique émis par les antennes classées exploitées par un même opérateur ne peut jamais dépasser 25% de la valeur limite :

$$E_{\text{équivalent 900}} = \alpha * \sqrt{\sum_{100\text{kHz}}^{400\text{MHz}} \left(\frac{E_f}{1.94} \cdot 2.9\right)^2 + \sum_{400\text{MHz}}^{2\text{GHz}} \left(\frac{E_f}{E_{\text{ref},f}} \cdot 2.9\right)^2 + \sum_{2\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_f}{4.34} \cdot 2.9\right)^2} [V/m \text{ équivalent 900}] < 2.9 V/m$$

La valeur limite d'installation Italienne, pour les fréquences entre 0.1MHz et 300GHz, de 6V/m¹⁴, et les valeurs limites d'installations Suisse (exposition provoquée par 1 antenne ou pour un groupement d'antennes) : pour les installations qui émettent uniquement dans la gamme de fréquences autour de 900 MHz : 4,0 V/m ; *somme de toutes les contributions en 900 MHz* : 42 V/m ; Pour les installations qui émettent uniquement dans la gamme de fréquences autour de 1800 MHz ou sur une gamme de fréquences plus élevée : 6,0 V/m ; *somme de toutes les contributions en 1800 MHz* : 58 V/m ; Pour les installations qui émettent dans les gammes de fréquences 900MHz et 1800MHz : 5,0 V/m. L'état d'exploitation de référence est celui du trafic vocal et de données maximum à la puissance d'émission maximum.

Les mesures in situ récoltées dans les PPE des villes de Grand Champ, Kruth, Thiers, Brest, Grenoble, Courbevoie et Paris XIV sont respectivement inférieures dans 98,3% , 96,6% et 80% des cas à la valeur limite d'installation Italienne, Suisse, et de Bruxelles-Capitale.

4. Exposition des petites antennes

De nombreuses études ont été réalisées sur les expositions induites par les antennes de téléphonie mobile, et certaines ont porté sur des situations d'exposition associée à de petites antennes (microcellules) : En Autriche par le biais de l'OFCOM afin de mesurer les rayonnements radiofréquences dans la ville de Salzburg ; En grande Bretagne par *T G Cooper et al.* [5] pour évaluer l'exposition du grand public aux ondes électromagnétiques à proximité des petites antennes etc... Ces études montrent dans les zones accessibles au public (rue, appartements...) des valeurs de champs très inférieures aux normes internationales en vigueur, avec des valeurs

¹² Ou sur des points remplaçant les PPE

¹³ Le champ électrique dans ces bandes est extrapolé à trafic maximal, en prenant en compte la configuration des voies balises 2G et 3G présentes sur les sites de téléphonie mobile.

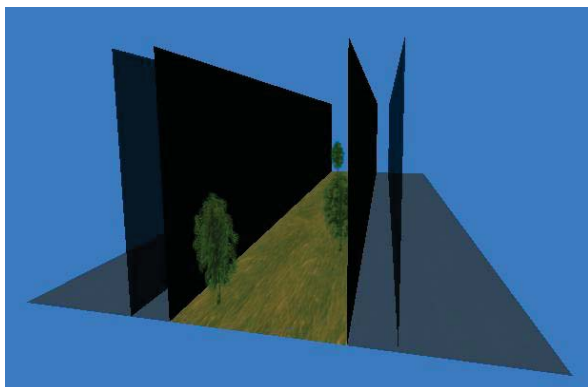
¹⁴ Somme quadratique des champs radiofréquences des émetteurs fixes de diffusion

3.8 V/m à 4 m de distance pour l'étude OFCOM et des valeurs maximales comprises entre 2 V/m et 6 V/m pour *T G Cooper et al.*

Pour ce qui nous concerne, nous cherchons à caractériser l'exposition produite par une antenne microcellule sur les façades et le sol d'une rue, par l'intermédiaire d'indicateurs d'exposition simples (fonction de distribution, moyenne, médiane) afin de les rapprocher des valeurs obtenues dans le cadre du COMOP et des macrocellules.

4.1. Scénarios

Quelques scénarios typiques simples sont définis et modélisés sous EMF Visual¹⁵ : Une rue de 100 mètres de long sur 20 mètres de largeur dans laquelle se trouve une microcellule en façade. Les façades ont une atténuation de 9.7 dB (béton) et les murs à l'intérieur une atténuation de 2.3 dB (petite brique). Quant au sol son atténuation est de 13.4 dB. 4 scénarios antennaires ont été définis.



Les différentes configurations réseaux sont les suivantes :

Scénario 1 : L'antenne dual-beam (gain 6dBi) installée à **5m** de hauteur, avec une puissance de **1W** en 1800 MHz, déportée à 20cm de la façade

Scénario 2 : L'antenne omni fouet (gain 2.3dBi) installée à **5m** de hauteur, avec une puissance de **1W** en 1800 MHz, déportée à 20cm de la façade

Scénario 3 : L'antenne panneau (gain 12.4dBi) installée à **15m** de hauteur, avec une puissance de **5W** en 1800 MHz, déportée à 20cm de la façade

Scénario 3 bis : L'antenne panneau perpendiculaire à la rue (gain 12.4dBi) installée à **15m** de hauteur, avec une puissance de **5W** en 1800 MHz, déportée à 20cm de la façade



(1)



(2)

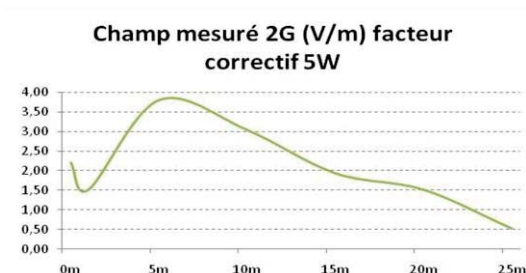


(3)

Exemples de petites antennes : fouet (1), dual-beam (2), panneau (3)

4.2. Résultats

Vérification préliminaires. Pour vérifier l'ordre de grandeur des résultats de simulations donnés par EMF Visual en champ lointain, une mesure terrain dans une rue a été réalisée avec le SRM3006¹⁶ sur une configuration quasi identique au scénario 2. On remarque une assez bonne concordance entre la simulation de l'exposition et la mesure terrain en extérieur.



¹⁵ Outil de simulation « sur étagère » d'ANTENNESSA, dédié au champ « assez proche », méthode de modélisation de l'antenne par décomposition en sources élémentaires, dite « sources équivalentes ».

¹⁶ Système de mesure portable sélectif en fréquence, isotrope, à base d'un analyseur de spectre et d'une antenne calibrée. Société NARDA.

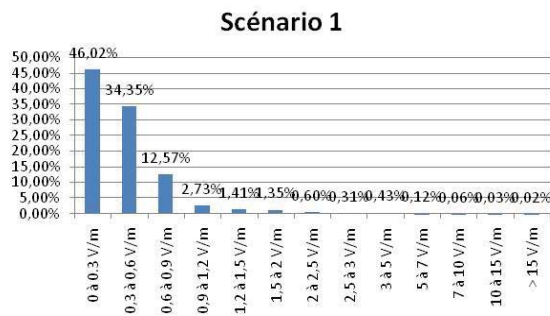
Résultats

L'exposition moyennée sur toute la surface de la rue à 1.5m du sol des 4 scénarios « petites antennes » oscille autour des 0.45 V/m, avec également une valeur médiane autour de 0,4 V/m et des valeurs maximales ne dépassant pas les 2.3 V/m ponctuellement. L'exposition moyenne en façades extérieure des 4 scénarios « petites antennes » oscille autour des 0.55 V/m, avec également une valeur médiane autour de 0,4 V/m et des valeurs maximales ponctuelles de l'ordre de 10 V/m à proximité de l'antenne.

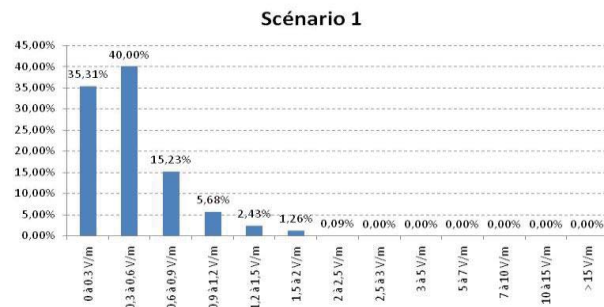
Ces résultats correspondent à des puissances de 1W et 5W suivant la configuration, dans le cas où des scénarios de puissance plus importante (>1W ou >5W) sont envisagés, ces niveaux d'exposition augmentent proportionnellement à la racine carrée de la puissance.

Les scénarios 1 et 2 présentent des fonctions de distribution au niveau du sol et en façade équivalentes à celles trouvées par le COMOP en zones très denses, tandis que les deux fonctions de distribution du scénario 3bis se rapproche plus d'une fonction « gaussienne », assez différente de celle des zones très denses du COMOP.

Dans le cadre de nos 4 scénarios, les populations les plus exposées à la microcellule se trouvent dans la rue à proximité de l'antenne (dessous), et à côté de l'antenne, aux niveaux des ouvrants les plus proches.



Distribution des expositions au niveau des façades



Distribution des expositions au niveau de la rue

Comparés aux expositions trouvées dans le cadre du COMOP, ces scénarios typiques de microcellules semblent globalement augmenter légèrement les expositions moyennes et médianes au niveau des façades et de la rue, tandis que les niveaux les plus élevés semblent être écrêtés (à condition de respecter certaines distances aux ouvrants).

5. Conclusion

Les résultats des différents travaux du COMOP ont montré que l'exposition réelle des français aux antennes de station de base est globalement extrêmement faible comparée aux seuils en vigueur (entre 41V/m et 61V/m), avec un niveau médian d'exposition en façades simulé inférieur à 0,3 V/m. Le COMOP a montré également que l'application dans les zones denses et très denses d'une limite inférieure à 1V/m entraîne une très forte dégradation de la couverture voix 2G à l'intérieur des bâtiments d'au moins 50% par rapport à la situation avant abaissement de puissance, avec pour les réseaux 3G des résultats similaires ou pires. Ces résultats ont été obtenus par modélisation, une transposition en situation réelle pose la question des écarts entre simulation de l'exposition et mesure de l'exposition. Le rapprochement des relevés dosimétriques et des mesures sur site réalisés dans le cadre du COMOP avec des résultats scientifiques déjà publiés soulignent la similitude des expositions en France comparée à celle des pays voisins (Italie, Suisse...), et cela indépendamment d'une réglementation quelques fois plus contraignante en termes de règles d'installation.

Le terme de « petites antennes » regroupe différents types d'antennes, de puissance émise et d'hauteur d'installation. Dans l'objectif d'une couverture extérieure, les puissances des microcellules sont de quelques watts, avec une hauteur d'installation sur façade allant d'environ 5m à 15m. Le recours à ces petites antennes induit des niveaux d'expositions très faibles dans les lieux accessibles au public, et les niveaux modélisés dans le cadre de notre travail sur quelques scénarios sont en phase avec les différents travaux déjà publiés.

Comparées aux macrocellules, les microcellules semblent augmenter légèrement le niveau d'exposition moyen et médian au niveau de la rue couverte, tout en écrétant les niveaux les plus forts. Du fait de la proximité possible d'ouvrants (fenêtres, balcons...), la suppression des points les plus forts en façade induit vraisemblablement des contraintes d'installations, notamment en termes de puissance émise et de positionnement relatif. Dans ce cas, la limitation de la puissance émise a de grande chance de limiter l'intérêt du déploiement des microcellules, surtout lorsqu'une couverture en indoor profond est recherchée.

Références bibliographiques

- [1] Viel, J. F., Cardis, E., Moissonnier, M., de Seze, R. and Hours, M. Radiofrequency exposure in the French general population: band, time, location and activity variability. *Environ. Int.* 35, 1150–1154 (2009).
- [2] Viel, J. F., Tiv, M., Moissonnier, M., Cardis, E., Hours, M. Variability of radiofrequency exposure across days of the week : A population-based study. *Environ. Res.* (2011).
- [3] Frei, P., Mohler, E., Neubauer, G., Theis, G., Burgi, A., Frohlich, J., Braun-Fahrlander, C., Bolte, J., Egger, M., Roßli, M., 2009a. Temporal and spatial variability of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Environmental Research* 109, 779–785.
- [4] Joseph, W. et al. Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe. *Environ. Res.* 110, 658–663 (2010).
- [5] T G Cooper, S M Mann, M Khalid and R P Blackwell. Exposure of the General Public to Radio Waves near Microcell and Picocell Base Stations for Mobile Telecommunications. Final Report (2004).