

CONCLUSIONS DE L'ETUDE MENEES PAR L'ISSeP CONCERNANT LES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES A PROXIMITE DES ANTENNES RELAIS DE MOBILOPHONIE

INTRODUCTION

L'augmentation du nombre d'utilisateurs de téléphones mobiles et l'arrivée de nouveaux opérateurs de télécommunications entraînent la multiplication d'antennes relais. Suite aux inquiétudes concernant les éventuels effets des champs électromagnétiques sur la santé, la Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGRNE) du Ministère de la Région wallonne a confié, à l'ISSeP, une étude relative aux champs électromagnétiques au voisinage des antennes relais GSM. L'objectif principal était de comparer les résultats des mesures aux normes¹ ou recommandations. Cette étude, d'une durée d'un an, a débuté en mars 1999 et cet article présente un résumé des principales conclusions concernant les antennes directives qui sont les plus nombreuses. L'intégralité des résultats sera publiée dans le rapport final qui sera disponible dans le courant du mois d'avril.

NORMES ET RECOMMANDATIONS

Dans les bandes de fréquences utilisées en téléphonie mobile, la plupart des normes et recommandations internationales sont fondées sur l'effet thermique. L'effet thermique produit une augmentation de la température des tissus et résulte de la forte teneur en eau du corps humain. La molécule d'eau, ainsi que celles constituant certains tissus, étant de type polaire, leur orientation tend à suivre celle du champ électrique, ce qui produit des frottements intermoléculaires, d'où une élévation de température. C'est ce principe qui est utilisé dans le four à micro-ondes, mais à un niveau de puissance nettement plus élevé que celui émis par un portable GSM.

Une seconde catégorie de recommandations concerne les effets dits "athermiques"; selon certains scientifiques, ces effets résulteraient d'une interaction directe avec les tissus et auraient, notamment, une influence sur le système nerveux. Sont souvent cités des symptômes subjectifs, tels que : problèmes de concentration, irritabilité, troubles du sommeil, fatigue, etc. Certaines études font également état d'effets sur l'œil, (dégénérescence tissulaire de la rétine, de la cornée et de l'iris), d'effets sur les systèmes de reproduction, cardio-vasculaire, immunitaire, hormonal ainsi que sur matériel génétique (ADN). Selon ces mêmes études, certains de ces effets apparaîtraient pour des niveaux d'exposition nettement plus faibles que ceux produisant un échauffement significatif. Il faut toutefois ajouter que les recherches relatives aux effets athermiques conduisent souvent à des conclusions divergentes, ou non significatives. D'autre part, ces études se basent généralement sur des expérimentations réalisées sur des animaux ou des cultures de cellules. L'extrapolation des résultats à l'espèce humaine n'est pas toujours aisée, notamment du fait de la différence de taille et de constitution des cellules.

La plupart des recommandations nationales, ou internationales, basées sur l'effet thermique, imposent, dans le cas du public soumis à une exposition totale et continue, une densité de puissance inférieure à 4,7 W/m² (Watt par mètre carré) pour la bande de fréquence de 900 MHz (Mégahertz) qui est utilisée par PROXIMUS et MOBISTAR. Cette limite passe à 9 W/m² pour la fréquence de 1800 MHz utilisée

¹ Il faut toutefois préciser qu'il n'existe actuellement, en Belgique, aucune norme spécifique pour le rayonnement électromagnétique.

par KPN-ORANGE. Ces valeurs sont imposées dans la recommandation de l'IRPA (International Radio Protection Association) et dans le projet de Directive Européenne (pr ENV 50166).

Plusieurs pays ont adopté des normes plus sévères visant à protéger les populations et les professionnels des effets athermiques. L'Australie et la Nouvelle-Zélande ont une norme commune, qui limite la densité de puissance à 2 W/m². La norme de l'ex-U.R.S.S. impose, pour les fréquences comprises entre 300 MHz et 300 GHz, une densité de puissance inférieure à 100 mW/m² (Milliwatt par mètre carré), dans le cas d'une exposition continue. Plus récemment, se basant sur le principe de précaution, l'Italie a adopté une limite 6 V/m (Volt par mètre), ce qui correspond à une densité de puissance² de 100 mW/m². La Suisse a, quant à elle, publié une ordonnance limitant le champ à 4 V/m (soit 42 mW/m²) et 6 V/m (soit 100 mW/m²), respectivement dans les bandes de fréquence de 900 et 1800 MHz. Précisons qu'il s'agit, dans ce cas, d'une limite par installation ; l'exposition réelle est supérieure lorsque les champs provenant de diverses installations se recouvrent.

Certains scientifiques ou associations ont également rédigé des recommandations. En Belgique, le Professeur VANDER VORST et le Docteur STOCKBROECKX (Université Catholique de Louvain), ainsi que le Professeur GERIN (Facultés Polytechniques de Mons), ont proposé de limiter le champ électrique à 3 V/m, ce qui correspond à une densité de puissance maximale de 24 mW/m². Les auteurs justifient ce choix par le fait qu'il n'existe pas, ou peu, d'effets nocifs recensés dans la littérature pour un tel niveau d'exposition³. Notons également qu'Inter Environnement Wallonie recommande une limite de 20 mW/m², qui est pratiquement équivalente à 3 V/m.

La recommandation la plus restrictive est défendue par le Dr Neil CHERRY, Directeur de l'Unité de Recherche en Climatologie de l'Université de Christchurch en Nouvelle-Zélande et par le Professeur Roger SANTINI de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Laboratoire de Biochimie-Pharmacologie; ces deux scientifiques préconisent de limiter l'exposition à 1 mW/m² en moyenne sur une année. A l'opposé, les défenseurs du projet de Directive Européenne ou de la recommandation de l'IRPA, prétendent qu'il n'y a, actuellement et au vu des résultats des études déjà réalisées, aucune base scientifique solide pouvant justifier un abaissement des plafonds d'exposition.

Densité de puissance et champ maximum dans le cas d'une exposition totale du public selon plusieurs réglementations ou recommandations

Réglementations ou recommandations	Densité de puissance (mW/m ²)	Champ électrique (V/m)
Projet de Directive Européenne pr ENV 50166	4700 à 900 MHz 9000 à 1800 MHz	41,9 à 900 MHz 58,1 à 1800 MHz
Australie et Nouvelle-Zélande (1991)	2000	27,5
Italie, ex-URSS (1978)	100	6,1
Suisse (1999)	42 à 900 MHz 100 à 1800 MHz	4 à 900 MHz 6 à 1800 MHz
UCL – FPMs (Belgique, 1999)	24	3
Inter Environnement Wallonie (1998)	20	2,75
N.CHERRY (Nouvelle-Zélande, 1996) R. SANTINI (France, 1998)	1 (en moyenne sur 1 an)	0,6

Le tableau, ci-dessus, résume les limites d'exposition correspondant à diverses recommandations, applicables aux fréquences 900 et 1800 MHz. La deuxième colonne reprend la densité de puissance

² Les limites d'exposition sont, soit exprimées en densité de puissance (par exemple en mW/m²), soit en champ électrique (en V/m). Pour autant que l'on se situe à quelques mètres de l'antenne, ces deux grandeurs sont liées entre elles par une relation simple.

³ A titre de comparaison, un portable GSM rayonnant une puissance de 2 W produit, à une distance de 2 m, un champ de 3 V/m.

(exprimée en mW/m^2) et la dernière colonne fournit le champ électrique correspondant (exprimé en V/m). On constate, qu'en ce qui concerne les densités de puissance, il y a entre les valeurs extrêmes, un rapport de 4700 à 900 MHz et de 9000 à 1800 MHz.

Précisons que l'étude confiée à l'ISSeP n'avait pas pour but d'émettre un avis sur la pertinence de ces différentes normes ou recommandations. En effet, une telle analyse est certainement prématurée au vu des nombreuses recherches en cours, initiées par l'OMS et l'Union Européenne. L'objectif essentiel des mesures était de connaître les niveaux de champ à proximité des antennes relais afin d'identifier les éventuelles "zones à risques". Dans la suite de cet article, nous comparons les résultats de nos mesures au seuil de $3 \text{ V}/\text{m}$, qui est assez proche de la limite adoptée en Suisse (pour 900 MHz) et qui est la plus restrictive en Europe. Dans un but de simplification, tous les résultats sont donnés en mW/m^2 et le seuil de $3 \text{ V}/\text{m}$ a été converti dans la même unité, c'est-à-dire $24 \text{ mW}/\text{m}^2$.

RESULTATS

De nombreuses mesures de champ ont été réalisées à proximité de tous les types d'implantations, c'est-à-dire sur pylônes, châteaux d'eau, ainsi que sur le toit ou les façades de bâtiments. De manière à garantir l'objectivité des résultats, les sites ont été choisis par l'ISSeP en concertation avec l'Administration de la Région wallonne. Les opérateurs n'ont été informés de ces choix qu'après que les mesures aient été réalisées.

Il est important de préciser que la puissance rayonnée par une antenne GSM dépend du nombre de conversations en cours dans la cellule; ce nombre est relativement faible pendant les périodes creuses et est presque nul pendant la nuit. A titre d'exemple, une antenne rayonnant deux fréquences à la puissance⁴ de 4 W émettra une puissance pouvant varier entre $0,5$ et 8 W , suivant le nombre de conversations en cours. Tous les résultats, ou conclusions, présentés ci-après se rapportent au cas où l'antenne est utilisée à sa pleine capacité, ce qui correspond à une puissance totale de 8 W . Par conséquent, l'exposition moyenne sur une durée de 24 heures sera, forcément, inférieure. L'extrapolation des résultats à d'autres puissances peut se faire par simple calcul.

1) Champ dans le faisceau de l'antenne

Des densités de puissance supérieures à $24 \text{ mW}/\text{m}^2$ sont surtout observées dans le faisceau de l'antenne dont la figure 1 représente une coupe verticale. En pratique, l'essentiel du rayonnement est concentré dans un angle généralement compris entre 6 et 10° . Dans le plan horizontal, et dans le cas des antennes directives (qui sont les plus courantes), le faisceau couvre un angle de 120 à 180° , selon le type.

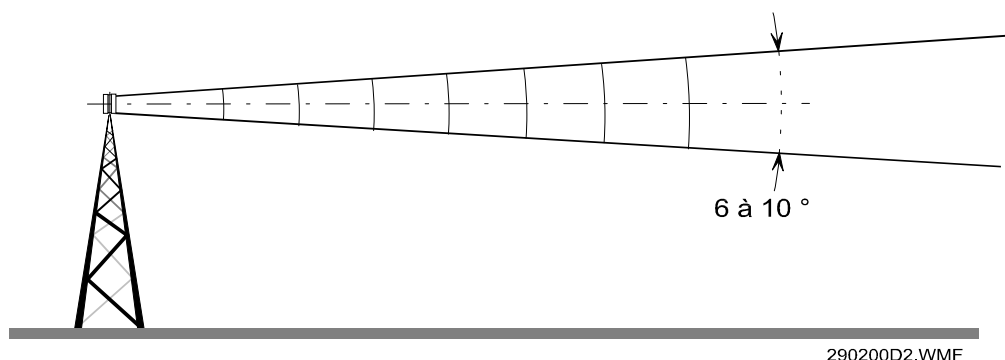


Figure 1 – Coupe verticale du faisceau d'une antenne

⁴ Ce cas est le plus fréquent. On trouve néanmoins des antennes rayonnant 4 ou 6 porteuses de 4 ou 5 W chacune.

La figure 2 donne, à titre d'exemple, la densité de puissance mesurée à proximité d'un château d'eau sur lequel sont installées, à 24 m de hauteur, trois antennes d'un opérateur couvrant chacune un secteur de 120°. La courbe de la figure 2 représente la densité de puissance, mesurée à 3 m de hauteur, le long d'un parcours rectiligne d'une longueur de 550 m et dont le point de départ (abscisse 0 m) se trouve au pied du château d'eau ; ce parcours est situé au milieu d'un des secteurs de 120° (c'est-à-dire là où le champ est le plus élevé) et est en vue directe des antennes. Cette courbe correspond à la densité de puissance cumulée lorsque les trois antennes émettent 8 W chacune.

La figure 2 montre que le champ est très faible au pied du château et augmente lorsqu'on s'en éloigne. La densité de puissance atteint un maximum de l'ordre de 1 mW/m^2 entre 120 et 260 m, c'est-à-dire 24 fois moins que les 24 mW/m^2 pris comme référence. Ajoutons également que ce maximum ne concerne qu'un nombre de points assez limité. Ce résultat peut être aisément expliqué si on prend en compte les caractéristiques exactes du faisceau de l'antenne et, plus particulièrement, son diagramme de rayonnement. La partie hachurée, de la figure 3, représente la zone, devant l'antenne, où la densité est supérieure à 24 mW/m^2 ; cette zone a été déterminée par calcul en tenant compte des caractéristiques de l'antenne (puissance totale de 8 W, gain de 35, faisceau incliné de 4° par rapport à l'horizontale). La figure 3 indique que la densité est inférieure à 24 mW/m^2 au-delà d'une distance de 30 m et en dessous d'une hauteur de 2 m; ce simple exemple illustre l'importance de la hauteur de l'antenne, de la forme du faisceau et de son inclinaison. Nous reviendrons sur l'importance de ces différents paramètres dans nos conclusions. Notons toutefois que les calculs sont peu fiables dans la zone située à quelques mètres devant l'antenne (délimitée par un pointillé à la figure 3); cet aspect a fait l'objet de mesures spécifiques et est présenté au point 2 ci-dessous.

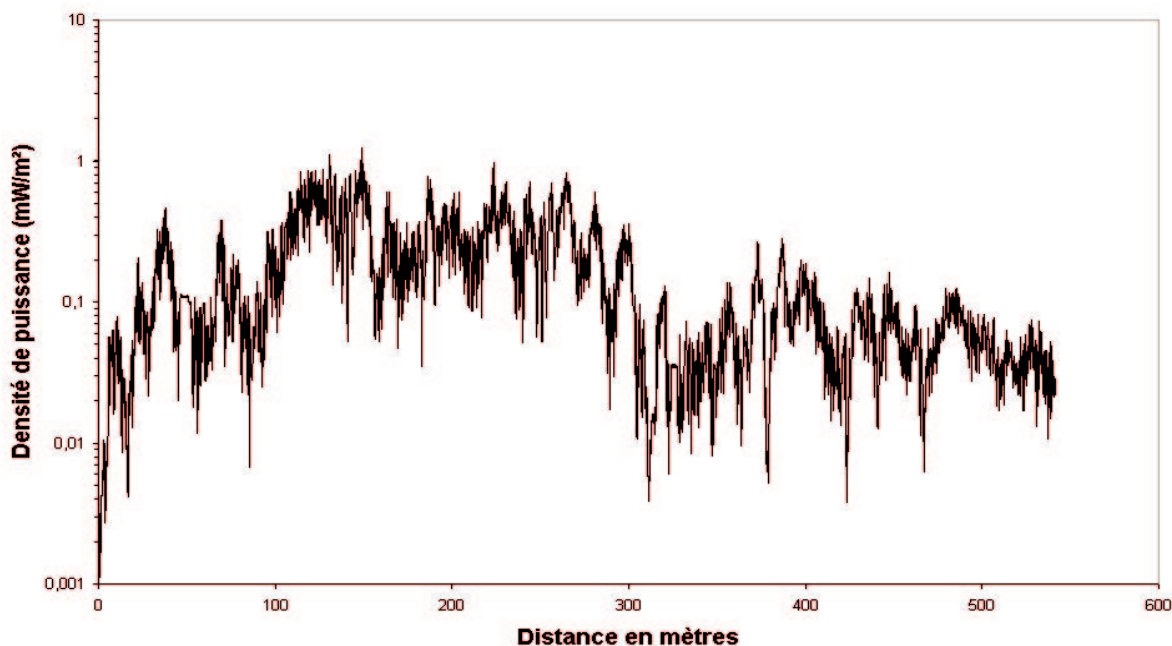


Figure 2 – Variation de la densité de puissance (en mW/m^2), à 3 m du sol, le long d'un parcours de 550 m (1^{er} opérateur)

Il faut également ajouter que lorsqu'on se trouve dans un bâtiment, les murs atténuent considérablement le rayonnement (la densité de puissance est réduite d'un facteur compris entre 5 et 10, selon le type de mur). Par conséquent, la densité de puissance, aux étages inférieurs des habitations, est encore beaucoup plus faible que ce qu'indique la figure 2.

La figure 4 représente la densité de puissance produite par trois antennes d'un second opérateur installées sur le même château d'eau. Le trajet de mesure est le même que celui de la figure 2. La

valeur maximale atteinte pour cet opérateur est de $0,2 \text{ mW/m}^2$. On notera que les maxima ne se produisent pas aux mêmes endroits que pour le premier opérateur. Cette différence de profil s'explique par le fait que le faisceau des antennes du premier opérateur est légèrement incliné, alors que celui des antennes du second est parfaitement horizontal.

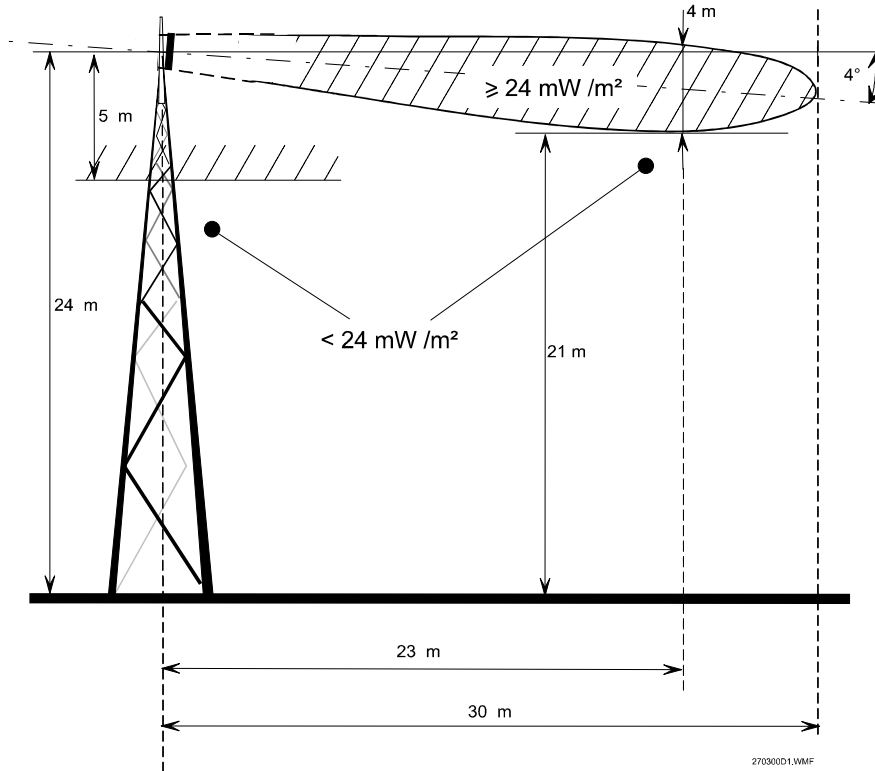


Figure 3 – Coupe verticale de la zone où la densité de puissance est $\geq 24 \text{ mW/m}^2$ (puissance totale = 8 W / gain = 35 / angle d'inclinaison du faisceau = 4°)

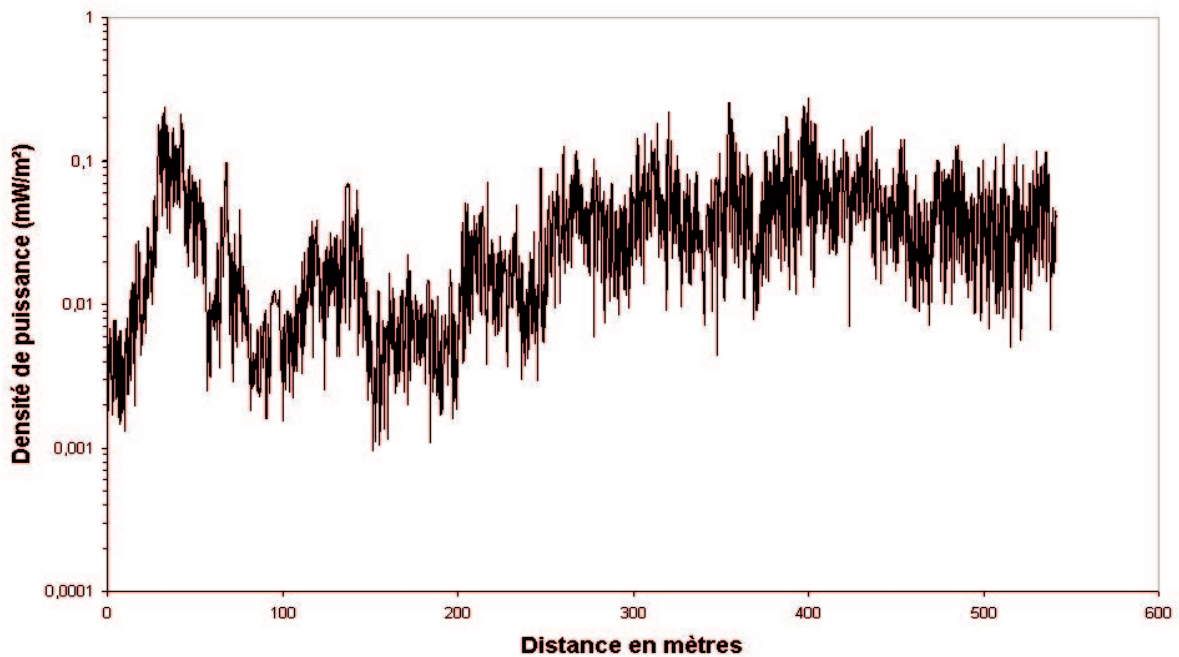


Figure 4 – Variation de la densité de puissance (en mW/m^2), à 3 m du sol, le long d'un parcours de 550 m (2^{ème} opérateur)

2. Champ derrière, en dessous et au-dessus d'une antenne

La densité de puissance mesurée à une distance de 2 m derrière une antenne est presque toujours inférieure, voire très inférieure, à 24 mW/m^2 . En dessous et au-dessus de l'antenne, la densité est inférieure à 24 mW/m^2 à une distance de 4 ou 5 m (voir figure 3) même s'il n'y a aucun obstacle entre l'antenne et le point de mesure, ceci est dû au fait que le rayonnement en dehors du faisceau est faible.

Lorsque qu'une antenne est installée sur le toit d'un bâtiment, les champs mesurés à l'étage inférieur sont très faibles. A titre d'exemple, des mesures réalisées au balcon d'un appartement du dernier étage d'un immeuble, au-dessus duquel deux antennes étaient installées, ont montré que la densité de puissance maximale était de l'ordre de 1 mW/m^2 ; ce maximum n'était rencontré qu'en quelques points situés juste sous l'antenne. Dans l'appartement du dernier étage, la densité de puissance était toujours inférieure à $0,1 \text{ mW/m}^2$; ceci est une conséquence de la directivité des antennes et de la protection que constitue le toit.

Dans le cas où des antennes sont installées le long des façades d'un bâtiment, les murs atténuent fortement le champ et apportent une protection efficace. Il faut toutefois veiller à ce que le faisceau ne soit pas dirigé vers des fenêtres ou des terrasses trop proches des antennes.

CONCLUSIONS

Les mesures réalisées à proximité d'implantations de différents types ont montré que des champs dépassant le seuil de 24 mW/m^2 n'existent que dans le faisceau de l'antenne, ou juste en dessous, à moins de 4 ou 5 m s'il n'y a aucun obstacle. Il y a donc lieu de veiller à ce que le faisceau de l'antenne ne soit pas dirigé vers une zone où pourrait se trouver des personnes pendant une période prolongée; ce faisceau peut être délimité par la courbe d'égale intensité correspondant à la limite de champ imposée; cette courbe, semblable à celle de la figure 3, peut être calculée à partir de formules théoriques et du diagramme de rayonnement de l'antenne.

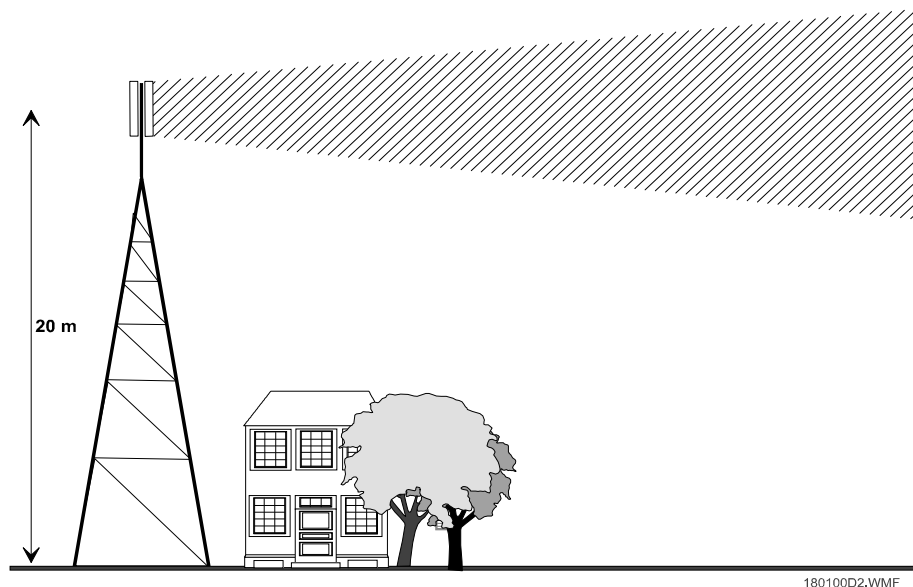


Figure 5 – Antennes situées nettement au dessus des habitations

Dans les cas courants, et s'il n'y a qu'un seul opérateur, la distance, dans le faisceau, à partir de laquelle la densité de puissance est inférieure à 24 mW/m^2 varie entre 30 et 80 m, selon le type d'antenne et la puissance rayonnée. La hauteur de l'antenne par rapport au sol et aux bâtiments voisins est un paramètre prépondérant comme le prouve les deux exemples suivants. La figure 5 illustre un cas qui

suscite souvent des inquiétudes, à tort, car le rayonnement passe nettement au-dessus du sommet des habitations. Les mesures, à 3 m du sol et à l'extérieur, indiquent que la densité de puissance ne dépassait jamais 1 mW/m^2 . Il faut aussi ajouter que les murs et les toitures atténuent considérablement le rayonnement à l'intérieur des bâtiments et fournissent une protection supplémentaire. Aux fréquences utilisées en téléphonie mobile, des mesures montrent qu'un mur extérieur réduit la densité de puissance d'un facteur variant entre 5 et 10, selon son épaisseur et sa composition.

L'exemple de la figure 6 requiert plus d'attention puisqu'un bâtiment se trouve dans le faisceau. Dans ce cas, il faut tenir compte de toutes les caractéristiques de l'antenne (puissance, gain, angle d'inclinaison du faisceau, nombre d'opérateurs, etc.) afin de contrôler si les limites prescrites sont respectées. Si ce n'est pas le cas, une solution consiste à utiliser un pylône plus élevé.



Figure 6 – Bâtiment situé dans le faisceau

Le cas des antennes installées sur le toit, ou le long des façades de bâtiments ne devrait, normalement, présenter aucun risque pour ses occupants, du fait que les antennes concentrent leur rayonnement dans la direction horizontale et aussi grâce à la protection apportée par le toit et les murs. Par contre, il convient de veiller à ce qu'il n'y ait pas, face aux antennes, de bâtiments trop proches. Il en découle que les craintes soulevées par l'implantation d'antennes sur les toits d'hôpitaux ou d'écoles sont généralement non fondées, car les mesures prouvent, sans aucune contestation possible, qu'il est de loin préférable d'installer les antennes sur le toit du bâtiment que l'on veut protéger, plutôt que sur un autre toit qui serait situé à 200 ou 300 m.

L'étude a permis de dégager un certain nombre de règles simples permettant de réduire l'exposition à laquelle sont soumis les riverains; elle a également mis en évidence l'importance de la hauteur de l'antenne par rapport au sol et aux bâtiments voisins et de l'angle d'inclinaison du faisceau.

Willy PIRARD
Ingénieur Civil Electronicien
Chef de la Section
Electronique Appliquée