

Radiofréquences, santé et société

Dorothee Grange, Sabine Host, sous la direction d'Isabelle Grémy, directrice de l'ORS

Les technologies permettant de transmettre de l'information à distance (données, voix, images...) connaissent actuellement un essor considérable. Si les radiofréquences sont depuis longtemps utilisées comme support de cette transmission (radio, télévision...), elles ont aujourd'hui de multiples applications. Parmi elles, la téléphonie mobile est largement répandue, en particulier en Ile-de-France : 90 % des Franciliens ont déclaré utiliser un téléphone mobile en 2007 (80 % en province)¹. Les systèmes de réseaux sans fil se sont également multipliés et de nouvelles normes sont définies régulièrement (Wi-Fi, Bluetooth, WiMax...). Cependant, en raison du développement rapide et massif de ces technologies, des questions se posent, notamment sur leurs éventuels effets sanitaires à long terme. Les inquiétudes de la population à ce sujet sont croissantes, comme en témoignent les nombreux événements récents et largement médiatisés : procès contre l'implantation d'antennes-relais qui sont particulièrement pointées du doigt, retrait des bornes Wi-Fi à l'intérieur de bibliothèques parisiennes, recrudescence des cas d'hypersensibilité électromagnétique (ou électrosensibilité)... En particulier, en

2007, plus d'un Francilien sur deux (51 %) percevait les risques liés aux antennes de téléphonie mobile comme plutôt ou très élevés pour la santé des Français¹. Pour répondre à ces inquiétudes, l'expertise scientifique est mise à jour régulièrement. Un rapport de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) a récemment été publié à ce sujet. À côté de ces aspects scientifiques, la mobilisation des pouvoirs publics s'est traduite récemment par l'organisation d'un « Grenelle des ondes ».

Dans ce contexte, cette synthèse a pour objectif, en premier lieu, de faire un état des connaissances des effets potentiels des radiofréquences sur la santé. Une étape indispensable à cette connaissance est la caractérisation des expositions aux ondes, de formes et d'intensités aussi variables que les sources. C'est pourquoi cette synthèse aborde en détail les phénomènes physiques qui régissent les radiofréquences et leur propagation dans l'environnement, ainsi que leur traduction en termes de niveau d'exposition. Enfin, cette synthèse dresse un bilan des réflexions menées au niveau national et local concernant la gestion de cette problématique.

De multiples sources de radiofréquences, des expositions difficiles à évaluer

Les individus évoluent dans un environnement baigné en permanence par des ondes électromagnétiques et en particulier par des radiofréquences, gamme d'ondes particulières (cf. encadré 1 p. 2). Les applications émettant ces radiofréquences sont multiples : radio, télévision, téléphonie mobile, Wi-Fi... (cf. Tableau 1) et les technologies évoluent très rapidement. Les situations d'exposition se sont également diversifiées : elles ont lieu au domicile, sur le lieu de travail, mais aussi lors des déplacements... Afin d'évaluer l'exposition d'un individu aux radiofréquences, il faut tenir compte des caractéristiques des sources d'émission présentes dans son environnement (caractéristiques physiques, fréquence des ondes émises...), mais aussi de la distance entre l'individu et ces sources. Ainsi, cette exposition est variable selon que l'on utilise soi-même un téléphone

mobile, que l'on croise un autre utilisateur ou que l'on se situe à proximité d'une station de base de téléphonie mobile ou encore d'une borne d'accès à un réseau sans fil... L'évaluation de l'exposition globale aux radiofréquences s'avère donc particulièrement complexe (SCENIHR, 2009).

Tableau 1 : Exemples d'applications émettant des radiofréquences (source : Afsset, 2009)

Fréquences	Exemples d'application
9 kHz - 87,5 MHz	Radiodiffusion, télédiffusion (bande I)...
87,5 - 108 MHz	Radiodiffusion FM
108 - 880 MHz	Télédiffusion (bandes II à V), alarmes, télécommandes...
880 - 960 MHz	Téléphonie mobile GSM 900
1 710 - 1 880 MHz	Téléphonie mobile GSM 1800 (ou DCS)
1 880 - 1 900 MHz	Téléphonie sans fil domestique (norme DECT)
1 920 - 2 170 MHz	UMTS (standard téléphone-Internet) ou 3G
2 400 - 2 500 MHz	Wi-Fi, Bluetooth, four à micro-ondes

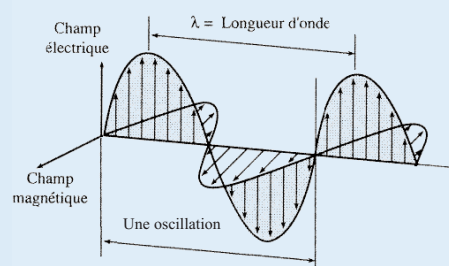
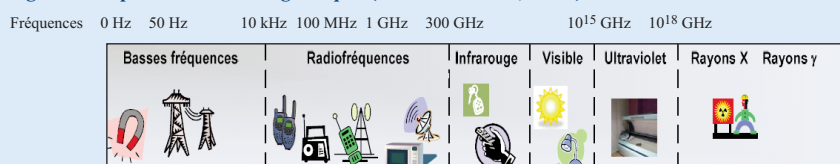
1 kHz = 10³ Hz, 1 MHz = 10⁶ Hz

¹ Ces résultats sont issus de l'exploitation ORS Ile-de-France du Baromètre santé environnement de l'Inpes (Inpes, 2008).

Nous tenons à remercier le professeur **André Aurengo** (chef de service de Médecine nucléaire, groupe hospitalier la Pitié-Salpêtrière) et M. **Olivier Merckel** (chef de l'unité agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements, Afsset) pour leur relecture attentive de cette synthèse et leurs commentaires avisés.

Encadré 1 : Définition des radiofréquences

Les radiofréquences peuvent être assimilées à un transport d'énergie sans support matériel (Afsset, 2009). Ce sont des ondes électromagnétiques, résultant d'un champ électromagnétique variable dans le temps. Ce dernier correspond au couplage d'un champ électrique, produit par une tension, et d'un champ magnétique, lié à la circulation d'un courant électrique. Les intensités de ces champs s'expriment respectivement en volts par mètre (V/m) et en ampères par mètre (A/m) (OMS, 2009 ; Afsset, 2009). À proximité de la source d'émission, la situation est complexe car le champ électromagnétique peut être fortement inhomogène. À partir d'une certaine distance, les ondes électromagnétiques sont bien « formées » (cf. Figure 1). Elles se caractérisent par leur fréquence, correspondant au nombre d'oscillations par seconde (exprimée en hertz ou Hz), et leur longueur d'onde qui correspond à la distance entre deux oscillations consécutives (mesurée en mètres). Plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est faible. Les ondes électromagnétiques se classent selon leur fréquence et on distingue généralement les basses fréquences (1 Hz-9 kHz)², les radiofréquences (9 kHz-300 GHz) et les rayonnements ayant une fréquence plus élevée : infrarouges, lumière visible, ultraviolets, X et Gamma (Afsset, 2009) (cf. Figure 2).

Figure 1 : Onde électromagnétique**Figure 2 : Spectre électromagnétique (source : Afsset, 2009)****Caractéristiques des principales sources d'émission**

Parmi les sources de radiofréquences, il faut distinguer les émetteurs fixes qui émettent en permanence (émetteur radio ou TV, antennes-relais de téléphonie mobile, bornes d'accès Wi-Fi) et les émetteurs portables dont l'émission est ponctuelle et liée à un usage déterminé (téléphone mobile, carte Wi-Fi sur un ordinateur portable...) (Afsset, 2009). Les puissances d'émission de ces applications (cf. encadré 2) sont aussi très variables (cf. Tableau 2).

Antennes-relais, émetteurs TV, radio...

Les antennes-relais émettent continuellement des radiofréquences et les puissances émises varient en fonction du nombre de communications en cours et des conditions dans lesquelles elles sont transmises. La puissance de l'antenne-relais dépend aussi du territoire couvert : elle est plus élevée en zone rurale qu'en zone urbaine pour couvrir des zones plus étendues (de 10 à 30 km selon le nombre d'utilisateurs potentiels, contre 500 m en zones urbaines). Les antennes-relais sont généralement situées en hauteur et émettent un faisceau directionnel de radiofréquences (cf. Figure 3).

Concernant la radio et la télédiffusion, les émissions sont continues dans le temps et les stations émettrices sont installées sur des « points hauts » (tour Eiffel pour

la région parisienne). Les récepteurs (radio, TV), quant à eux, n'émettent pas de radiofréquences (Afsset, 2009).

Téléphonie mobile / sans fil

Les téléphones mobiles émettent des radiofréquences essentiellement lors des communications. Leur puissance maximale instantanée d'émission autorisée est de 2 W, mais ils sont équipés d'un système de contrôle adaptatif qui réduit automatiquement la puissance émise au niveau maximum compatible avec une bonne qualité de communication. Cette réduction dépend de la qualité de connexion au réseau. Ainsi, dans des conditions de mauvaise réception ou lors des déplacements de l'utilisateur qui entraînent une prise de relais successifs par plusieurs antennes-relais, l'exposition est plus importante. Le système de contrôle de puissance utilisé par les dernières générations de téléphones mobiles (UMTS³) offre une bien meilleure efficacité que celui des précédentes technologies (Afsset, 2009 ; SCENIHR, 2009).

Concernant les téléphones sans fil domestiques, leur puissance est généralement plus faible que celle des téléphones mobiles, de l'ordre de quelques dizaines de mW (puissance maximale autorisée de 250 mW) (Afsset, 2009 ; SCENIHR, 2009).

² kHz = 10³ Hz, MHz = 10⁶ Hz, GHz = 10⁹ Hz.

³ Norme utilisée pour les télécommunications (cf. Tableau 1). La technologie UMTS supplante actuellement les technologies GSM ou DCS.

Tableau 2 : Puissances d'émission de quelques émetteurs de radiofréquences et exposition résultante (source : Afsset, 2009)

Sources proches du corps			Sources loin du corps		
Application	Puissance	Exposition	Application	Puissance	Exposition
Téléphone mobile	2 W max	< 2 W/kg	Émetteur TV	Jusqu'à 780 000 W	Très forte à 5 m
Téléphone sans fil DECT	0,25 W max	< 0,1 W/kg	Émetteur radio FM	Jusqu'à 300 000 W	Très forte à 5 m
Wi-Fi	0,1 W max	< 0,2 W/kg	Antennes-relais	Jusqu'à 30 W	Faible à 5 m (E<10 V/m)
Bluetooth	0,001 à 0,025 W max	< 0,01 W/kg	Bornes Wi-Fi	Jusqu'à 1 W	Faible à 5 m (E<0,1 V/m)

Wi-Fi

La puissance maximale autorisée pour un émetteur Wi-Fi est de 0,1 W, soit 20 fois moins élevée que celle d'un téléphone mobile. La puissance moyenne réellement émise est, quant à elle, beaucoup plus faible et varie en fonction du type d'échange, de la taille des données à transmettre, du débit et du nombre d'utilisateurs simultanés (Afsset, 2009).

Influence de la distance avec la source d'émissions

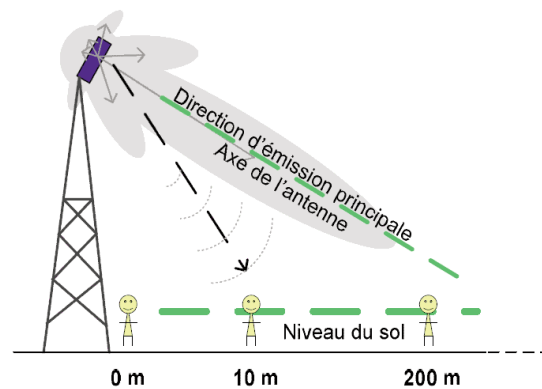
D'une manière générale, l'intensité du champ électromagnétique décroît rapidement avec la distance, donc plus une personne est loin de la source, plus l'exposition est faible (INRS, 2005). Pour évaluer les niveaux d'exposition, il convient donc de distinguer deux configurations d'exposition très différentes (cf. Tableau 2) :

- lorsque la personne se trouve proche de la source d'émission (équipements mobiles tels que téléphones mobiles ou sans fil, clés ou cartes 3G, cartes Wi-Fi utilisées sur un ordinateur portable...);
- lorsque la personne se trouve loin de la source d'émission (émetteurs fixes tels qu'antennes-relais de téléphonie mobile, émetteurs de radio ou télédiffusion, bornes d'accès Wi-Fi...).

Encadré 2 : Puissance d'émission et puissance reçue

La notion de puissance d'émission peut être décrite sous différentes formes. Elle s'exprime généralement en watts (W). On définit ainsi la puissance électrique fournie par l'émetteur. Cependant, un émetteur peut émettre des ondes dans toutes les directions (émetteur omnidirectionnel) ou dans certaines directions (émetteur directionnel). Afin de prendre en compte la façon dont l'énergie rayonnée est concentrée, d'autres grandeurs peuvent ainsi être utilisées : la puissance isotropique rayonnée équivalente, la puissance apparente rayonnée... Dans un objectif d'évaluation de l'exposition, il est important de connaître la densité de puissance reçue en un lieu donné. Celle-ci s'exprime en puissance par unité de surface (W/m^2) (Afsset, 2009). À partir d'une certaine distance de la source, on peut déduire cette densité (S) de l'intensité du champ électrique (E), qui lui s'exprime en V/m, grâce à la relation $S=E^2/377$. Enfin, cette densité peut être traduite en puissance absorbée par les tissus de l'organisme. Il s'agit du Débit d'absorption spécifique (DAS), exprimé en watts par kg (W/kg).

La situation peut toutefois être plus complexe, notamment en ce qui concerne les antennes-relais. En effet, puisque la plupart des antennes-relais sont situées en hauteur et émettent un faisceau très directif et légèrement incliné vers le sol, l'exposition aux radiofréquences au niveau du sol a tendance à augmenter avec la distance dans une zone proche de l'antenne, et ce jusqu'à atteindre un pic à l'endroit où le faisceau principal atteint le sol (cf. Figure 3). Une étude a ainsi mis en évidence deux pics d'exposition aux antennes-relais GSM et DCS (à environ 280 m de l'antenne-relais en zones urbaines et à environ 1 000 m en zones périurbaines). En revanche, cette étude ne montre pas de tels pics pour les antennes UMTS et de télédiffusion, mais une décroissance continue de l'exposition avec la distance (Viel et al., 2009).

Figure 3 : Faisceau d'émission d'une antenne-relais (source : Afsset, 2009)

Bien que la puissance d'émission des téléphones mobiles soit plus faible que celle des antennes-relais, l'utilisation de ces appareils entraîne une exposition moyenne bien plus importante que celle liée au fait de vivre à proximité d'une antenne-relais, du fait d'une émission de radiofréquences à proximité immédiate de la tête (Afsset, 2009). Eloigner le téléphone mobile du corps, à l'aide d'un kit mains libres par exemple, permet néanmoins de diminuer l'exposition.

Concernant les systèmes Wi-Fi, les niveaux de champs produits décroissent également très rapidement avec la distance (Afsset, 2009), l'exposition induite est donc relativement faible (Fondation Santé et Radiofréquence, 2009). Cependant, dans certaines conditions, notamment à proximité des bornes Wi-Fi, l'exposition peut ne pas être négligeable (SCENIHR, 2009).

Méthodes de mesure de l'exposition

L'évaluation de l'exposition d'une personne aux radiofréquences repose sur l'estimation de la quantité d'énergie absorbée au final par l'organisme. Les méthodes pour évaluer cette exposition diffèrent si l'on considère des sources d'émission proches ou loin du corps. En effet, à distance de la source, les ondes électromagnétiques sont bien « formées » et des méthodes de modélisation ou de mesures des intensités des champs électrique ou magnétique peuvent être utilisées. En pratique, il suffit de ne mesurer qu'une de ces grandeurs, généralement l'intensité du champ électrique. À partir de cette mesure, on peut déduire la densité de puissance, puis la quantité d'énergie absorbée par le corps (cf. encadré 2 p. 3). En revanche, à proximité d'une source, la situation est plus complexe et il faut alors évaluer directement la quantité d'énergie absorbée, en d'autres termes le Débit d'absorption spécifique (DAS) (Afsset, 2009). La mesure directe est aujourd'hui la plus répandue, mais des modèles numériques sont aussi en développement.

Mesures directes des intensités des champs

Différentes approches peuvent être envisagées : une mesure globale de l'exposition à l'aide d'une sonde large bande (il s'agit cependant d'une mesure assez peu précise), ou une mesure sélective en fréquence qui permet d'évaluer le niveau d'exposition pour chaque type d'émetteur (mais le matériel est très coûteux et plus complexe à utiliser). Il existe aussi des équipements de mesure plus simples d'utilisation, tels que des « exposimètres » portables, qui permettent la mesure en temps réel et en continu du niveau d'exposition par type d'émetteur (Afsset, 2009). L'utilisation d'appareils de mesures portables permet une meilleure évaluation de l'exposition individuelle, puisque ces appareils prennent en compte l'ensemble des micro-environnements fréquentés durant la période de mesure. Ces appareils sont toutefois susceptibles de manquer de précision, du fait notamment d'interactions entre l'appareil et le corps. De plus, il n'existe pas de protocole standardisé, ce qui pose la question de la comparabilité des résultats obtenus dans les différentes études (Afsset, 2005).

Mesure du Débit d'absorption spécifique

S'agissant des téléphones mobiles, la mesure du DAS est réalisée suivant des protocoles normalisés à l'échelle internationale qui tiennent compte de l'utilisation de l'appareil fonctionnant au maximum de sa puissance. En pratique, le DAS est mesuré par une sonde placée à l'intérieur d'un modèle de tête humaine (ou fantôme), le téléphone mobile étant placé au contact de la tête. Ces mesures sont avant tout utilisées pour vérifier la conformité des appareils à la réglementation.

Modélisations des expositions

Les modélisations permettent notamment de prédire l'intensité du champ électrique ou magnétique en un point donné en prenant en compte les caractéristiques d'émission des antennes, ainsi que les obstacles à la propagation des ondes (topographie, bâtiments...). Des modèles complexes ont ainsi été développés concernant les antennes-relais, mais ils nécessitent encore des validations (Viel et al., 2009). Par ailleurs, des modèles numériques permettant de simuler la propagation des ondes électromagnétiques dans les tissus humains sont également en cours de développement pour estimer les DAS.

Niveaux couramment rencontrés

Intensités des champs électromagnétiques ambiants

Chaque année, environ 2 000 mesures sont réalisées en France par des laboratoires accrédités et selon un protocole établi par l'Agence nationale des fréquences (ANFR). Ces mesures résultent, le plus souvent, de demandes de collectivités locales ou de particuliers vivant à proximité d'émetteurs (généralement de téléphonie mobile). Les résultats de ces mesures sont accessibles sur le site Internet www.cartoradio.fr. La synthèse des résultats pour la période 2004-2007 (Agence nationale des fréquences, 2007) montre que les moyennes des niveaux de champ relevés restent très faibles, de 0,01 à 0,65 V/m à l'extérieur des bâtiments selon les sources d'émission. Ces moyennes sont près de 50 fois inférieures aux valeurs limites⁴, quel que soit l'émetteur considéré, et plus de 97 % des mesures n'atteignent pas 10 % des valeurs limites. Cependant, les résultats de ces mesures sont très liés aux sites de mesures choisis et ne permettent d'évaluer les niveaux qu'au point de mesure et à un moment donné. Ils n'ont donc pas vocation à être représentatifs de l'exposition de la population.

Exposition individuelle globale

Une étude évaluant l'exposition de 377 personnes représentatives de la population générale à l'aide de capteurs individuels (Viel et al., 2009a) a montré que la plupart des niveaux mesurés étaient très faibles (inférieurs au seuil de détection). Le niveau moyen total était de 0,201 V/m. Toutefois, l'exposition était plus importante en milieu urbain, durant la journée, chez les adultes et lors des déplacements. Les niveaux totaux mesurés à l'extérieur des bâtiments étaient supérieurs à ceux mesurés à l'intérieur. Les plus forts contributeurs étaient les radios FM, puis les fours à micro-ondes, les téléphones sans fil et les téléphones mobiles. Les expositions aux fours à micro-ondes étaient néanmoins susceptibles d'avoir eu lieu dans le cadre du milieu

⁴ Les valeurs limites diffèrent selon les sources considérées. Par exemple, pour les antennes-relais, elles vont de 41 à 61 V/m (cf. encadré 5 p. 9).

professionnel. Concernant le Wi-Fi, les niveaux étaient distribués de manière uniforme entre l'extérieur et l'intérieur, ceci étant probablement lié au développement des accès au Wi-Fi dans les lieux publics (gares, cafés...) (Afsset, 2005).

DAS liés aux téléphones mobiles

Le DAS peut être mesuré pour tous les appareils utilisés à proximité du corps (cf. Tableau 2). Concernant les téléphones mobiles, les DAS sont très variables selon les modèles (de 0,05 à 1,8 W/kg). Une étude ayant mesuré les DAS liés à l'utilisation de 124 téléphones montre qu'ils sont tous inférieurs à la valeur réglementaire de 2 W/kg (cf. encadré 5 p. 9) et que l'utilisation d'un kit mains libres ou d'une oreillette Bluetooth permet de réduire l'exposition de la tête de l'utilisateur (respectivement d'un facteur de l'ordre 5 et 400) (Picard, 2009). Par ailleurs, la puissance émise par un téléphone mobile variant au cours d'une communication, le DAS indiqué par le constructeur est un DAS maximal. Des mesures montrent qu'en moyenne, la puissance à laquelle un utilisateur est exposé équivaut à 40 % du DAS constructeur dans le cas du GSM (Fouquet et al., 2009).

Indicateurs utilisés dans les études épidémiologiques

Toutes les études épidémiologiques sont confrontées à des difficultés pour évaluer l'exposition aux radiofréquences, puisque des données de mesures ne sont pas toujours disponibles, notamment lorsqu'il s'agit d'expositions passées. Certaines études utilisent des indicateurs indirects (par exemple, la distance entre le domicile et l'antenne-relais la plus proche), mais cela ne permet pas d'étudier l'ensemble des sources de radiofréquences et ces indicateurs peuvent se révéler très approximatifs. Concernant les téléphones mobiles, la plupart des études utilisent des données déclaratives concernant l'historique de l'utilisation, incluant la

fréquence et la durée des appels. Les données sont parfois plus détaillées (types de téléphone...). Quelques études ont utilisé les données provenant des opérateurs. Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. Le recueil d'informations auprès des utilisateurs permet d'avoir des données plus détaillées, mais se heurte à un problème de mémorisation pour les expositions anciennes et à des risques de biais. En effet, des études semblent montrer que les « gros » utilisateurs de téléphones mobiles ont tendance à surestimer leur utilisation, de même que les personnes atteintes de tumeurs cérébrales, ces dernières surestimant d'autant plus leur utilisation qu'elle remonte à une période ancienne. Les données des opérateurs, quant à elles, peuvent être plus précises et objectives, mais aussi manquer de validité (Ahlbom et al., 2009). S'agissant des expositions liées spécifiquement aux ondes émises par les systèmes de type Wi-Fi, aucune étude épidémiologique n'a été recensée. En effet, pour ce type d'exposition, la mesure directe constituerait l'approche la plus pertinente, or la sensibilité des appareils de mesures s'avère insuffisante compte tenu de la faiblesse des niveaux rencontrés.

En conclusion, si l'évaluation de l'exposition aux radiofréquences doit se faire de manière aussi précise que possible pour pouvoir étudier les potentiels effets sanitaires, elle est confrontée à de nombreuses limites. En dehors de la précision des niveaux estimés, des questions plus fondamentales se posent. Comment estimer une exposition globale à des ondes émises par des sources proches du corps d'une part et loin du corps d'autre part, qui plus est se caractérisant par des fréquences différentes ? Par ailleurs, les ondes se propageant différemment selon les parties du corps, faut-il considérer une exposition corps entier ou bien cibler une partie du corps, ou encore certains tissus ?

Effets potentiels des radiofréquences sur la santé

Interactions entre radiofréquences et tissus biologiques

Lorsqu'une onde électromagnétique entre en contact avec la matière, plusieurs types d'interaction se produisent : réflexion, réfraction, diffraction, diffusion ou encore absorption. Ces interactions sont fonction du rapport entre la longueur d'onde et la taille de l'objet rencontré par le rayonnement, ainsi que des caractéristiques physiques de cet objet (dimensions, forme, position, orientation, propriétés électriques...). La matière vivante, en raison de la structure des membranes cellulaires (bicouche lipidique), a la capacité

de stocker de l'énergie et de la dissiper. Le corps absorbe ainsi environ 50 % de l'énergie de l'onde émise lors de l'utilisation d'un téléphone portable. Une exposition aux radiofréquences en termes d'effets biologiques se traduit par des courants induits et des échauffements localisés, naturellement régulés par l'organisme en dehors de situation d'exposition exceptionnelle. À ce titre, une exposition à un champ électromagnétique intense, par exemple à proximité de radars ou d'émetteurs radio de forte puissance, est en effet susceptible de provoquer de graves brûlures. En revanche, les effets potentiels d'une exposition aux

radiofréquences de faible niveau sont moins bien connus. Encore appelés « effets non thermiques », ils sont susceptibles de répondre à d'autres mécanismes d'interaction avec la cellule. La recherche s'oriente vers différentes catégories d'affections : cancers, atteintes du système nerveux, troubles de la reproduction ou encore symptômes subjectifs réunis sous le terme « hypersensibilité électromagnétique ». Les mécanismes biologiques envisagés comme pouvant être à l'origine de ces effets sont les suivants : génération de radicaux libres de l'oxygène, stress oxydant, génotoxicité, co-génotoxicité, mutagénèse, apoptose, atteintes des cellules du système immunitaire, atteintes de la barrière hémato-encéphalique, sécrétion de mélatonine (SCENIHR, 2009 ; Afsset, 2009). En l'état des connaissances telles que développées ci-après, aucun effet n'a pu être relié aux expositions aux radiofréquences et aucun de ces mécanismes biologiques n'a été confirmé.

Cancers

Le développement massif de la téléphonie mobile depuis le début des années 90 a justifié nombre de travaux de recherche afin de s'assurer de l'innocuité de cette technologie. Ces travaux relèvent soit d'une approche expérimentale (sur l'animal, sur cultures cellulaires...), soit épidémiologique, fondée sur des études cas-témoins.

À la fin des années 90, des travaux coordonnés dans 13 pays ont été initiés sous l'égide du Centre international de recherche sur le cancer (étude INTERPHONE). Ces

études ciblent les tumeurs situées au niveau de la tête (gliomes, méningiomes, tumeurs du nerf acoustique et de la glande parotidienne), celle-ci étant plus particulièrement exposée aux ondes des téléphones mobiles. L'ensemble de ces travaux n'a pas permis de mettre en évidence des liens entre exposition aux radiofréquences liées à l'utilisation de téléphones mobiles et cancer (Ahlbom et al., 2009 ; Moulder et al., 2005). Malgré la volonté d'harmoniser les protocoles de ces études, leur mise en œuvre est susceptible de différer. Ainsi parmi les résultats, une étude relevant un risque significatif se distingue (Hardell et al., 2006), mais elle ne permet pas d'infléchir la conclusion actuelle quant aux liens entre exposition et cancer. Toutefois, l'existence d'un risque faible ne peut être écartée, compte tenu des limites des études épidémiologiques (cf. encadré 3), ainsi, les recherches doivent être poursuivies (SCENIHR, 2009).

S'agissant des antennes-relais, les niveaux d'exposition attribuables sont beaucoup plus faibles que ceux liés à l'utilisation d'un téléphone mobile. Ainsi, les études épidémiologiques portant sur les antennes-relais sont rares. Elles sont aussi sujettes à caution du fait de biais méthodologiques importants, tant au niveau de la définition des populations d'étude, de la prise en compte des éventuels facteurs de confusion que de l'estimation de l'exposition qui ne peut se déduire simplement de la distance à l'émetteur. Néanmoins, les résultats de ces travaux ne sont pas en faveur d'un risque accru de cancer en lien avec une exposition aux radiofréquences émises par les antennes de téléphonie mobile (Afsse, 2005).

Encadré 3 : Limites des études épidémiologiques

L'épidémiologie se heurte à de nombreuses difficultés méthodologiques. Dans le cas de l'étude d'un effet potentiel d'une exposition aux radiofréquences, les résultats et leur interprétation sont notamment influencés par les aspects suivants :

- La définition des cas de cancer n'est pas standardisée et peut englober des tumeurs à des stades de développement ou des situations anatomiques différents, ce qui n'exclut pas la présence de faux-positifs ou de faux-négatifs dans les études. Ceci contribue à diminuer la puissance des études et, d'une étude à l'autre, les résultats ne sont pas toujours comparables.
- La sélection des témoins se traduit souvent par une sous-représentation des non-utilisateurs de téléphone mobile susceptible de minimiser les risques, l'erreur estimée est de l'ordre de 10 % (Ahlbom et al., 2009).
- L'estimation de l'exposition peut être basée sur des approches différentes telles que détaillées dans le chapitre précédent. Chacune présente ses limites, certaines étant susceptibles de biaiser les estimations (cf. sur-déclaration possible des expositions chez les cas) (Ahlbom et al., 2009).
- Les temps de latence d'apparition des cancers peuvent aller jusqu'à 40 ans. Dans les études publiées actuellement, les plus longues fenêtres d'exposition sont de 10 ans et en moyenne de 4 ans (Kundi, 2009). Il est donc fort probable que l'apparition des tumeurs soit antérieure à l'utilisation des téléphones mobiles, hormis peut-être pour des tumeurs à croissance rapide telles que les gliomes et dans l'hypothèse où les radiofréquences agissent en tant que facteur de promotion, accélérant ainsi la survenue de la pathologie.
- La taille des échantillons limite la puissance des études, ainsi les risques les plus faibles ne peuvent pas être mis en évidence.

En parallèle de ces travaux épidémiologiques, de nombreuses études expérimentales visant à expliciter les mécanismes biologiques susceptibles d'être impliqués ont été conduites. Les travaux les plus récents ont été recensés et critiqués dans le dernier rapport de l'Afsset (Afsset, 2009). Ainsi, à ce jour, même si des résultats isolés mettent en évidence certains effets biologiques, ces études ne permettent pas de démontrer de lien causal entre expositions aux radiofréquences et cancer, tant du point de vue de l'induction (ni effet mutagène, ni génotoxique) que de la promotion de la pathologie (absence d'effet cancérigène). Par ailleurs, aucune altération du fonctionnement de la cellule (expression génique, production de radicaux libres, apoptose...) n'a pu être reliée à une exposition aux radiofréquences qui, en dehors des effets thermiques, ne semble pas représenter un facteur de stress pour la cellule.

Atteintes du système nerveux

Le système nerveux, dont le cerveau constitue l'élément central, contrôle toutes les fonctions du corps humain. Une atteinte de ce système est susceptible d'entraîner toutes sortes de troubles. Suite à une exposition aux radiofréquences, certaines manifestations telles que modification de l'activité électrique du cerveau, troubles du sommeil ont pu être observées, mais les résultats des différentes études sont trop discordants pour conduire à un consensus, d'autant plus qu'aucune explication physiologique à ces phénomènes n'a pu être fournie (SCENIHR, 2009). Ainsi, il n'a pas pu être montré d'effet délétère d'une exposition aux radiofréquences, à des niveaux habituellement rencontrés, sur le système nerveux ou le fonctionnement cérébral général, ni en termes de cognition, ni de bien-être. Il a par ailleurs été envisagé qu'une exposition aux radiofréquences puisse entraîner une modification de la barrière hémato-encéphalique, qui constitue une protection indispensable pour le cerveau. Cependant, aucune preuve convaincante d'un effet des radiofréquences sur l'intégrité de cette barrière n'a pu être apportée (Afsset, 2009).

Effets sur la reproduction et le développement

Les travaux menés sur ce sujet visent à identifier une potentielle altération de la reproduction ou du développement des individus à tout stade de la croissance jusqu'à l'âge adulte (embryon, fœtus, nourrisson, enfants, adolescents). En effet, avant d'atteindre l'âge adulte, les organes ne sont pas encore matures et généralement plus sensibles aux agents toxiques (cf. encadré 4). Les résultats de ces travaux, peu nombreux en l'occurrence, ne sont pas homogènes et ne permettent pas d'identifier un impact d'une

exposition aux radiofréquences, aux niveaux habituellement rencontrés, sur la reproduction ou le développement (Afsset, 2009 ; SCENIHR, 2009 ; SCENIHR, 2007).

Symptômes subjectifs

L'hypersensibilité électromagnétique ou « electromagnetic hypersensitivity » (EHS) qualifie les personnes sujettes à des symptômes subjectifs non spécifiques dont elles attribuent la cause à une exposition à des champs électromagnétiques. Cette définition fait office de critère de diagnostic alors qu'il n'existe pas de description précise des symptômes évoqués. Pour progresser dans la compréhension de ce phénomène, une standardisation des méthodes de diagnostic serait souhaitable. En effet, il peut s'agir d'irritations cutanées, de fatigue, de maux de tête, de douleurs ostéo-musculaires, de troubles de la mémoire, du sommeil, d'irritabilité, de difficultés de concentration ou encore de symptômes oculaires, de palpitations... Ces symptômes présentent une grande hétérogénéité, il en est de même des sources d'exposition incriminées (Afsset, 2009) : écrans (TV, ordinateur), téléphones sans fil, téléphones mobiles, antennes-relais, relais de TV et

Encadré 4 : Vulnérabilité des enfants

Les enfants constituent-ils une population plus à risque vis-à-vis de l'exposition aux radiofréquences, en particulier via l'utilisation des téléphones mobiles ? Cette question est actuellement en débat et différentes hypothèses peuvent suggérer ce risque. Tout d'abord, il est admis une plus grande vulnérabilité intrinsèque des tissus des enfants. Par ailleurs, la manière dont les ondes interagissent avec les tissus repose notamment sur leurs caractéristiques, or un cerveau en développement a une morphologie différente de celle d'un adulte. Ainsi, il est suspecté une capacité d'absorption d'énergie plus importante pour des cerveaux non matures, mais les résultats disponibles à ce jour n'ont pas permis de le démontrer. Enfin, concernant l'exposition, peu de chiffres sont disponibles sur l'usage des téléphones mobiles chez les jeunes, particulièrement attirés par ces technologies. Toujours est-il que plus l'usage d'un téléphone portable sera précoce, plus les durées d'exposition s'allongeront, ce qui pourrait majorer le risque. En ce qui concerne l'ensemble de ces aspects, peu de travaux ont pu être menés jusqu'à présent, essentiellement pour des raisons éthiques. Les recherches doivent être poursuivies afin d'éclairer cette question.

de radio, lignes haute tension, bornes Wi-Fi, appareils ménagers... L'ampleur de ce phénomène est mal connue. Des estimations allant de 1,5 % (en Suède) à 5 % (en Suisse) ont pu être avancées, la prévalence des cas d'EHS en France n'ayant pas fait l'objet d'études (Afsset, 2009).

La subjectivité des symptômes et leur manque de spécificité interrogent sur la causalité de leur lien avec les expositions. Afin de vérifier cela, des tests de provocation ont été réalisés, consistant à engendrer l'apparition des symptômes par une exposition expérimentale. La survenue de symptômes est observée au sein de groupes se déclarant EHS et de groupes témoins, que ce soit lors de phases réelles d'exposition ou lors d'expositions factices. La plupart des résultats de ces études montrent que les sujets EHS décrivent plus de symptômes que les témoins, et ce indépendamment de l'exposition à des champs électromagnétiques (Rubin et al., 2006). Ainsi, ces études n'ont pas mis en évidence une capacité particulière des individus se déclarant EHS à différencier la présence ou l'absence de champs électromagnétiques. Certains travaux ont mis en évidence l'existence d'un effet nocebo, c'est-à-dire la survenue de symptômes sévères chez certains sujets EHS lors d'expositions factices.

Bien qu'aucune explication physiologique n'ait pu jusqu'à présent être avancée, ces résultats ne permettent pas d'écarter l'existence d'une réelle sensibilité aux radiofréquences pour de rares sujets (Afsset, 2009). Ainsi, ces recherches méritent d'être poursuivies, d'autant plus que de légers effets, tels que modification de la qualité du sommeil et maux de tête, ont été mis en évidence suite à une exposition de plusieurs heures (Afsset, 2009).

Plusieurs études ont par ailleurs exploré les problèmes de santé ressentis par les personnes exposées aux ondes émises par les antennes-relais de téléphonie mobile. Les

résultats semblent indiquer une influence de la perception du risque sur les symptômes déclarés. S'ils ne permettent pas de trancher en faveur d'une association significative, cette question reste ouverte en l'attente de travaux portant sur des échantillons d'individus de plus grande ampleur.

Ainsi, aucune relation de causalité entre l'exposition aux ondes et les symptômes évoqués par les sujets EHS n'a pu être démontrée. Aucune explication physiologique n'a pu être avancée, orientant plutôt les hypothèses vers des troubles psychosomatiques, avec une plus grande prévalence de co-morbidité psychiatrique chez les sujets EHS. Pour les individus atteints, la qualité de vie est susceptible d'être profondément altérée. La poursuite des recherches, avec la mise au point d'outils de diagnostic standardisés, devrait permettre de conforter ces hypothèses et proposer une prise en charge adaptée.

Conclusion sur les effets potentiels des radiofréquences

En conclusion, de nombreux travaux ont été menés afin de déceler des effets potentiels d'une exposition aux radiofréquences. Différents types d'effets (ceux présentés ici ne sont pas exhaustifs) ont été étudiés avec des approches complémentaires. Les résultats ne sont pas toujours concordants. L'absence d'effet ne peut jamais être affirmée, c'est pourquoi des doutes subsistent et la recherche se poursuit afin d'approfondir certaines hypothèses étayées par la mise en évidence, à la faveur de travaux isolés, d'effets biologiques ponctuels tels que la modification du débit sanguin cérébral ou l'atteinte de certaines fonctions cellulaires. Toutefois, considérant les travaux les plus rigoureux, ils n'invitent pas à conclure, à ce jour, à un effet délétère d'une exposition aux radiofréquences, quelle que soit la source considérée, à des niveaux rencontrés habituellement.

Controverse autour des radiofréquences, enjeux et solutions

La problématique des risques liés aux radiofréquences se cristallise autour de la question des antennes-relais plutôt qu'autour de celle de l'usage des téléphones mobiles, ces derniers étant pourtant plus particulièrement pointés du doigt par les autorités publiques et les experts scientifiques. Dans un rapport d'étude, Borraz et al. (2004) examinent l'origine de la controverse autour de l'implantation de ces antennes et montrent qu'elle ne puise pas ses racines uniquement dans les questions de compréhension de la science et d'éducation du grand public.

Genèse d'une controverse autour de l'implantation des antennes-relais

Le déploiement des antennes-relais a été initié au début des années 90, sous l'impulsion de l'État qui poussa le développement de ce service d'intérêt collectif dans une optique de progrès social. Alors que la téléphonie mobile est au départ destinée à un public restreint, à la fin de l'année 1997, une explosion des ventes d'abonnements projette cette activité dans la consommation de masse. Les opérateurs sont alors confrontés à la nécessité d'intensifier leur réseau,

parallèlement à son déploiement, afin de répondre à la demande. À cette époque, environ 10 000 stations de base couvrent le territoire ; on en compte aujourd'hui environ 70 000 (Afsset, 2009), l'implantation des antennes-relais étant régie par différentes réglementations et accordée par l'ANFR (cf. encadré 5). Dans ce contexte, l'implantation précipitée de nouvelles antennes s'est faite au détriment des riverains, dont les doléances n'ont pas été entendues. Le sentiment d'impuissance face à ce phénomène et le silence des autorités alimentent l'hostilité des riverains à l'égard des antennes ayant fait irruption dans leur paysage (De Marchi, 2009). Bien que la question sanitaire n'ait pas été au premier plan des préoccupations exprimées par les riverains, la réponse tardive apportée par les opérateurs s'est focalisée sur ce point (Borraz et al., 2004), de même que celle de l'État qui produit un premier rapport sur la question des risques sanitaires de la téléphonie mobile en 2001 (Zmirou et al., 2001). Ce rapport évoque l'absence de risque lié aux antennes, mais paradoxalement préconise leur implantation à

distance des lieux sensibles tels que crèches, écoles, hôpitaux... Ce message a pour effet d'ancrer la problématique des antennes autour de la question sanitaire (Borraz et al., 2004).

Prise de position et oppositions, place de l'expertise scientifique

À l'heure actuelle, les résultats des études ne plaident pas en faveur d'une relation causale entre expositions aux radiofréquences, aux niveaux d'exposition couramment rencontrés, et altération de la santé, qu'il s'agisse de cancers ou bien de symptômes plus généraux. Aucun mécanisme d'action des ondes sur les cellules ou les tissus n'a pu être mis en lumière, mais les doutes subsistent à la faveur de l'évocation d'effets biologiques par certains travaux isolés. Face à cette situation d'incertitude, les opinions sont souvent tranchées entre partisans de l'existence d'un effet avéré et partisans de l'innocuité des ondes, offrant ainsi un terrain propice à l'opposition de points de vue extrêmes. On assiste alors à l'affrontement de deux groupes,

Encadré 5 : Réglementation

Au niveau mondial, la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) émet des recommandations quant aux valeurs limites d'exposition permettant de garantir la protection des personnes contre les effets nocifs des champs électromagnétiques. Ces valeurs limites sont définies à partir de l'analyse des effets sanitaires avérés documentés dans la littérature, et de façon à prévenir l'effet qui se déclare au niveau d'exposition le plus bas. Des facteurs de sécurité sont appliqués pour prendre en compte les incertitudes scientifiques. Dans le cas des radiofréquences, l'ICNIRP considère que les seuls effets avérés sont les effets thermiques et les valeurs limites peuvent s'exprimer en termes de Débit d'absorption spécifique (DAS) (on parle de restrictions de base) ou d'intensités de champ électrique (on parle de niveaux de référence). Les valeurs limites actuelles ont été proposées par l'ICNIRP en 1998 et l'analyse des études récentes a confirmé leur validité (Afsset, 2009). Ces valeurs ont été reprises par l'Union européenne⁵ et transposées dans la réglementation française^{6,7}.

Concernant les équipements terminaux tels que les téléphones mobiles, le DAS doit être inférieur à 0,08 W/kg pour l'ensemble du corps et, au niveau local, à 2 W/kg pour la tête et le tronc, et 4 W/kg pour les membres⁵. Le DAS local au niveau de la tête doit également figurer de façon visible dans la notice d'emploi des appareils, de même qu'une rubrique portant sur les précautions d'usage⁷.

Concernant les antennes-relais, les valeurs limites d'exposition varient actuellement de 41 à 61 V/m selon le type de réseau. L'exploitant doit s'assurer qu'en toute zone accessible au public, ces valeurs limites ne sont pas dépassées. Un périmètre de sécurité de l'ordre de quelques mètres doit notamment être matérialisé autour de l'antenne⁸. Par ailleurs, lorsqu'une antenne est située à moins de 100 m d'un établissement scolaire, d'une crèche ou d'un établissement de soins, l'exploitant doit indiquer les actions prises pour assurer une exposition aussi faible que possible tout en préservant la qualité du service rendu⁶. L'accord pour l'implantation des antennes-relais est délivré par l'Agence nationale des fréquences (ANFR) selon une procédure veillant notamment au respect de ces valeurs limites. Ce respect peut également être vérifié sur site par des organismes qualifiés appliquant le protocole de mesure de l'ANFR.

⁵ Recommandation du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques.

⁶ Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

⁷ Arrêté du 8 octobre 2003 relatif à l'information des consommateurs sur les équipements terminaux radioélectriques.

⁸ Circulaire interministérielle du 16 octobre 2001 relative à l'implantation des antennes-relais de radiotéléphonie mobile.

opposant d'une part, les autorités, experts scientifiques et opérateurs et, d'autre part, les associations, groupes de riverains et experts contestataires. Alors que la parole des experts est fondée sur des faits et des données scientifiques, qui par nature sont dénués de sentiments et placés hors du contexte social, l'argumentaire des mouvements contestataires mêle éléments d'ordre scientifique, articles, pétitions signées par des médecins, faits locaux, récits individuels... et est restitué dans un contexte émotionnel. Les médias, sans prendre parti, portent sur le devant de la scène les deux propos et contribuent à semer la confusion dans les esprits. Ainsi, la méfiance à l'égard de l'expertise scientifique et des pouvoirs publics s'est généralisée. En effet, la confiance accordée par la population à l'expertise scientifique concernant la téléphonie mobile est faible : moins d'un Francilien sur deux (48,9 %) se déclarait plutôt ou très confiant dans cette expertise en 2007, la téléphonie mobile étant ainsi la problématique pour laquelle la confiance est la plus faible parmi différentes thématiques environnementales. De même, la population se montre largement insatisfaite de l'action menée par les pouvoirs publics dans ce domaine (seulement 38 % des Franciliens se déclaraient plutôt ou très satisfaits en 2007)⁹. L'expertise s'appuie sur des données scientifiques qui sont mises à jour continuellement, synthétisées et critiquées dans divers rapports nationaux et internationaux émanant de groupes d'experts. Pour autant, à ce jour, elles n'ont pas permis de faire évoluer le débat, indiquant peut-être que le problème n'a pas de solution scientifique. En effet, il n'est pas possible de faire la preuve de la non-nocivité des ondes. Ainsi, il faut trouver un autre cadre au débat.

Concertation nationale et recommandations

L'expertise scientifique ayant montré ses limites, et face aux inquiétudes persistantes exprimées par la population à propos de la téléphonie mobile, l'État a récemment adopté une nouvelle posture en organisant une table ronde « Radiofréquences, santé, environnement », appelée encore « Grenelle des ondes »¹⁰. Cette démarche répond au principe d'attention que requièrent notamment les antennes-relais (cf. encadré 6). Dans un rapport de restitution remis aux ministres (Girard et al., 2009), des propositions ont été formulées, dont certaines sont présentées ci-après :

- Consolider l'information auprès du grand public, des élus mais aussi des professionnels de santé (portail Internet, plaquettes d'information, campagne de l'INPES programmée en 2010).

- Développer une prise en charge sanitaire adaptée des personnes se déclarant EHS, considérant que les souffrances et le mal-être exprimés par ces individus peuvent parfois conduire à un retrait progressif de la vie sociale.
- Renforcer les dispositions de précaution concernant les téléphones mobiles (généralisation des kits mains libres, étiquetage des appareils), avec une attention particulière portée aux travailleurs. Le renforcement de ces dispositions passe également par la limitation de l'usage des téléphones mobiles par les enfants, rendue concrète par l'adoption récente au Sénat de l'article 62 de la loi Grenelle II interdisant les téléphones portables dans les écoles.
- Connaître et contrôler les niveaux d'exposition du public ; à cet effet, l'implantation de dispositifs fixes de mesures est à l'étude.
- Agir sur les niveaux d'exposition au-delà du respect des valeurs limites d'exposition (cf. encadré 5 p 9), en tirant notamment bénéfice des progrès technologiques qui vont déjà dans le sens de la diminution des puissances. Un abaissement des seuils, bien que revendiqué par les associations, n'est pas à l'ordre du jour (cf. encadré 7).

Encadré 6 : Principe de précaution ou principe d'attention ?

Le principe de précaution se veut un outil de gestion de l'incertitude en matière de risques. Son application découle de l'identification d'un risque plausible sur la base d'indices concluants. Si le principe de précaution donne plus de poids à la protection de la santé dans la balance des intérêts, la réponse doit être proportionnée en regard des autres considérations, qu'elles soient socio-économiques, politiques, techniques ou encore éthiques... Les mesures adoptées ont par ailleurs un caractère provisoire et peuvent être révisées en fonction de la progression des connaissances (Noiville, 2009). Dans le cas des antennes-relais de téléphonie mobile, ce principe ne s'applique pas car aucun indice ne rend plausible l'existence d'un risque. Or certaines décisions de justice sèment le trouble dans les esprits en faisant d'un risque sanitaire hypothétique et de l'angoisse qui en découle un préjudice, alliant ainsi le principe de précaution et la notion de trouble du voisinage. C'est en revanche le principe d'attention qu'appliquent les pouvoirs publics. Pour répondre à l'inquiétude manifeste du public, ils prônent notamment plus de transparence, d'information, de déontologie et un discours public assumé.

⁹ Ces résultats sont issus de l'exploitation ORS Ile-de-France du Baromètre santé environnement de l'Inpes (Inpes, 2008).

¹⁰ www.sante-sports.gouv.fr/actions-engagees-par-les-pouvoirs-publics.html

- Renforcer les prérogatives des élus locaux en vue de permettre la planification conjointe des installations dédiées à la téléphonie mobile avec une plus grande concertation du public. Tels que développés dans le paragraphe suivant, des exemples dans cette voie peuvent être décrits.

Expériences d'une gestion locale

Au début des années 2000, une prise en charge politique par les élus locaux des grandes villes, en particulier à Paris, a vu le jour sous la forme de chartes signées avec les opérateurs. Ces chartes visent notamment à établir une surveillance plus étroite de l'activité des opérateurs, ainsi que la garantie d'une meilleure intégration des antennes dans le paysage urbain et le contrôle des niveaux d'exposition. La dimension santé s'efface au bénéfice d'une politique d'aménagement urbain et d'une plus grande transparence de l'activité des opérateurs. La ville de Paris a signé une première charte avec les opérateurs en 2003. En 2005, une nouvelle charte a été signée, garantissant des niveaux d'exposition inférieurs à 2 V/m en moyenne sur 24 heures (cf. encadré 7). Un nouveau projet de charte est actuellement à l'étude.

En matière de concertation, la ville de Paris peut être également citée en exemple, avec l'organisation au

printemps 2009 d'une conférence citoyenne « Ondes, Santé, Société »¹¹. Treize citoyens parisiens ont ainsi rendu un avis le 14 juin dernier, après avoir reçu une formation intensive sur la problématique des ondes. Le jury a notamment souligné la nécessité de rendre accessible au grand public ces informations, ainsi que la difficulté de se prononcer en regard de la complexité du sujet. En ce qui concerne les recommandations qui ont été formulées, une optimisation des réseaux (mutualisation inter-opérateurs) et des technologies afin d'abaisser les niveaux ambiants est préconisée, ainsi qu'un usage raisonné des technologies sans fil (réseau filaire à privilégier) et une limitation de l'utilisation des téléphones mobiles par les enfants. Il est également souhaité une reconnaissance de l'intolérance aux champs électromagnétiques. Enfin, le jury revendique un abaissement des seuils à 0,6 V/m malgré l'absence de fondements scientifiques à cette valeur (cf. encadré 7). La concertation locale apparaît comme une approche porteuse. En effet, suite au Grenelle des ondes, de nouvelles procédures de concertation et d'information locales vont être expérimentées dans plusieurs communes, dont celle de Châteaufort en Yvelines (78), lors des projets d'implantation d'antennes-relais de téléphonie mobile.

¹¹ http://www.paris.fr/portail/Environnement/Portal.lut?page_id=103

Encadré 7 : Vers un abaissement des valeurs limites d'exposition ?

Les niveaux d'exposition acceptables pour la population générale constituent un enjeu important. Si les expertises ne mettent pas en exergue des raisons suffisantes pour réclamer la révision des valeurs limites d'exposition établies par les instances internationales, leur acceptabilité sociale s'est largement dégradée depuis quelques années (Girard et al., 2009). Pour répondre aux inquiétudes de la population, certains États ont choisi d'appliquer des valeurs limites d'exposition plus strictes, sur tout leur territoire ou dans des lieux définis comme plus sensibles. D'autres mesures de gestion spécifiques visant à limiter les expositions, basées sur les connaissances scientifiques mais aussi sur d'autres critères (inquiétude sociale, principe de précaution...), ont également été adoptées par certaines collectivités (charte de Paris par exemple). La valeur limite de 0,6 V/m est souvent citée, notamment par de nombreuses associations qui réclament sa généralisation. Si cette valeur a été proposée suite à une étude scientifique réalisée en 1996, elle n'a aucun fondement scientifique, les études ultérieures n'ayant pas confirmé les résultats obtenus (Treiner, 2009). Or ces disparités dans les seuils appliqués contribuent à alimenter la confusion et l'inquiétude de la population. Selon Girard et al. (2009), le sentiment d'abaisser les seuils pourrait ainsi provoquer une fuite en avant vers des réclamations toujours plus radicales. En effet, si l'intérêt de la concertation entre les différents acteurs et la prise en compte de l'ensemble de leurs préoccupations est indéniable, il s'avère aussi essentiel que les décisions prises soient clairement explicitées et la communication autour de ces décisions bien organisée (OMS, 2004). Par ailleurs, il convient de vérifier dans quelle mesure l'abaissement des seuils entraînerait une diminution réelle de l'exposition (Afsset, 2009). En effet, abaisser les seuils implique notamment une diminution des puissances émises par les antennes-relais, donc potentiellement une augmentation des puissances émises par les téléphones mobiles pour se connecter au réseau, d'où une augmentation de l'exposition de leurs utilisateurs. Une expérimentation, initiée à la suite du Grenelle des ondes, est d'ailleurs en cours dans différentes communes dont certaines en Ile-de-France (Courbevoie-la Défense (92), Plaine Commune-Saint Denis (93) ainsi que les 14^e et 15^e arrondissements de Paris), afin d'évaluer dans quelle mesure il serait possible de diminuer l'exposition de la population, en abaissant la puissance d'émission des antennes-relais.

Conclusion

Les technologies sans fil, d'apparition rapide et massive, font aujourd'hui partie de notre quotidien et évoluent sans cesse. Elles constituent à la fois un progrès social, eu égard aux nombreux services rendus, et une source d'inquiétudes concernant leur impact sur notre environnement ou notre santé. Alors que la plupart des individus font le choix de l'usage des téléphones mobiles, ils ont le sentiment de se voir imposées les antennes-relais qui ont fleuri dans leur paysage en peu de temps. L'impossibilité de recours face à ce phénomène et l'absence de dialogue sont à l'origine d'une situation conflictuelle qui a fini par se cristalliser autour de l'argument santé, faisant de cette problématique un objet médiatique et d'intérêt public. Ces inquiétudes en faveur des antennes et plus généralement des ondes électromagnétiques sont parfois à l'origine de véritables pathologies. Pourtant, aucun effet délétère d'une exposition aux radiofréquences à des niveaux rencontrés habituellement, quelle que soit la source considérée, n'a pu être démontré. À la faveur d'incertitudes résiduelles, notamment en terme de temps de latence d'apparition des pathologies, les recherches se poursuivent. Ces conclusions ne sont donc pas définitives et invitent à adopter une attitude prudente concernant l'usage des téléphones mobiles. S'agissant des antennes-relais, une telle attitude ne se justifie pas, étant donné les niveaux d'exposition faibles mis en jeu. Malgré son fondement, cette position ne satisfait pas les attentes du public. Ainsi, la solution reste à trouver. Dans ce contexte, un nouveau paysage semble se dessiner, avec une implication plus large des pouvoirs publics et une volonté de gestion transversale de la problématique au-delà du champ sanitaire. Les recommandations issues des différents exercices de concertation locaux ou nationaux vont dans la même direction et proposent différentes actions concrètes à engager en vue de répondre aux inquiétudes du public. Si la transparence et la concertation occupent une place centrale, ces actions vont aussi dans le sens d'une attitude prudente, avec une volonté affichée de privilégier les solutions techniques permettant de minimiser les expositions. La mise en œuvre concrète de ces recommandations n'est pas encore effective. Ainsi la polémique autour des radiofréquences pourrait évoluer dans les prochaines années.

Références

- Afssse. Téléphonie mobile et santé. Rapport du groupe d'experts. 2005. 129 p.
- Afssset. Santé et environnement, enjeux et clés de lecture. Champs électromagnétiques. 2005. 6 p.
- Afssset. Les radiofréquences - mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences. 2009. 469 p.
- Agence nationale des fréquences. Mesures de champs électromagnétiques en France - synthèse 2007. 2007. 8 p.
- Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA et Swerdlow AJ. Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk: a review. *Epidemiology*, 2009 ; 20 : 639-52.
- Borraz O, Devigne M et Salomon D. Controverses et mobilisations autour des antennes-relais de téléphonie mobile (rapport de recherche). 2004. 159 p.
- De Marchi B. Electromagnetic fields (mobile phones). In final report of the Risk Bridge project. (project no. sas6-ct-2006-036661-riskbridge). 2009. pp. 73-104.
- Fondation Santé et Radiofréquence [en ligne]. <http://www.sante-radiofréquences.org/>. 2009.
- Fouquet L, Galdeano S, Gilbergues M, Picard D, Chauvin S et Desreumaux J. Représentativité du DAS constructeur dans l'exposition moyenne des utilisateurs de téléphones mobiles GSM/DCS. Deuxièmes Rencontres Scientifiques. Fondation Santé et Radiofréquences. Paris : Télécom Paris Tech, octobre 2009.
- Girard J, le Boulter S et Février C. Table ronde radiofréquence, santé, environnement (23 avril-25 mai 2009) - rapport de restitution. 2009. 57 p.
- Hardell L, Carlberg M et Mild KH. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000-2003. *Environ. Res.*, 2006 ; 100 : 232-41.
- Inpes. Baromètre santé environnement 2007. 2008. 405 p.
- INRS. Généralités sur les rayonnements non ionisants jusqu'à 300 GHz. 2005. 4 p.
- Kundi M. Essentiel problems in the interpretation of epidemiologic evidence. Deuxièmes Rencontres Scientifiques. Fondation santé et radiofréquences. Paris : Télécom Paris Tech, octobre 2009.
- Moulder JE, Foster KR, Erdreich LS et McNamee JP. Mobile phones, mobile phone base stations and cancer: a review. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2005 ; 81 : 189-203.
- Noiville C. Incertitudes et principe de précaution : retour sur 10 ans d'expériences. Conférence : gouverner l'incertitude : les apports des sciences sociales à la gouvernance des risques sanitaires environnementaux. Paris : Ecole des Mines, 7-8 juillet 2009.
- OMS. Instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques. 2004. 42 p.
- Picard D. Comparaison de l'exposition de la tête de l'utilisateur d'un téléphone mobile avec et sans kit mains libres filaires ou oreillette Bluetooth. Deuxièmes rencontres scientifiques. Fondation Santé Radiofréquences. Paris : Télécom Paris Tech, octobre 2009.
- Rubin GJ, Das Munshi J et Wessely S. A systematic review of treatments for electromagnetic hypersensitivity. *Psychother Psychosom*, 2006 ; 75 : 12-8.
- SCENIHR. Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health. 2007. 64 p.
- SCENIHR. Health effects of exposure to EMF. 2009. 83 p.
- Treiner J. Que faire de la peur ? *Le Quotidien du Médecin*, 2009 ; n°8609 : 12.
- Viel J, Cardis E, Moissonnier M, de SR et Hours M. Radiofrequency exposure in the French general population: band, time, location and activity variability. *Environ Int*, 2009 ; 35 : 1150-4.
- Viel J, Clerc S, Barrera C, Rymzhanova R, Moissonnier M, Hours M et Cardis E. Residential exposure to radiofrequency fields from mobile-phone base stations, and broadcast transmitters: a population-based survey with personal meter. *Occup Environ Med*, 2009 ; 66 : 550-556.
- Zmirou D, Aubineau P, Bardou A, Goldberg M, de Sèze R, Veyret B et Dixsaut G. Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé. Etat des connaissances et recommandations. 2001. 270 p.