Inférence

DES ONDES

ET DES HOMMES...

MARS 2003 - N° 10

ÉDITO

Comme l'air et l'eau, les ondes électromagnétiques nous sont indispensables. Loisirs et nouvelles nous viennent par radio, le téléphone est entré dans l'ère de la mobilité et nous ne saurions plus voyager sans systèmes de localisation ou d'atterrissage automatique…

Comme l'air et l'eau, l'environnement électromagnétique craint la pollution. Les ondes sont utiles mais fragiles. L'encombrement extrême du spectre ou une mauvaise maîtrise des émissions favorisent des brouillages de toute nature et dégradent les services rendus aux consommateurs.

A l'extrême, comme l'air peut être irrespirable et l'eau peut provoquer des noyades, les rayonnements électromagnétiques peuvent aussi se révéler dangereux : l'impulsion électromagnétique produite par les éclairs engendre parfois des dégâts matériels, voire humains.

L'environnement électromagnétique doit faire l'objet d'une attention particulière, pour conjuguer la bonne cohabitation de toutes les radiocommunications avec les exigences de sécurité et de protection des équipements et des personnes.

Voilà des enjeux majeurs d'environnement pour le vingt-et-unième siècle. Cependant, des réponses sont attendues dès maintenant. Et comme les défis augmentent avec la consommation croissante des services, ces réponses devront évoluer rapidement, en correspondance avec la progression de nos savoirs.

Pour les ondes, on constate aujourd'hui une meilleure connaissance de leurs effets, la volonté de construire un cadre réglementaire européen, traduit en droit national et le concours des professionnels, dont TDF, pour assurer et garantir la maîtrise de la qualité radioélectrique de leurs sites.

Daniel Sauvet-Goichon
Directeur de la R&D

SOMMAIRE

INTRODUCTION p 2
Des ondes et des hommes...

INTERACTIONS p 8
Les exigences requises

INTERVIEW p 12
Philippe Ritter, Directeur de l'Ecologie Urbaine de la ville de Lyon

L'écologie urbaine de la ville de Lyon

INTERVIEW p 14
Interview de Luis Miro, Professeur Honoraire des Universités en Biophysique Médicale

Champs électromagnétiques et Santé

LA RÉGLEMENTATION p 20
Réglementer l'usage des ondes

ACTIONS DE TDF p 26
Maîtrise et savoir-faire

INTERVIEW p 34
Interview de Jean-Marc Chaduc, Directeur Général de l'Agence Nationale des Fréquences

ANFr : Bilan et perspectives

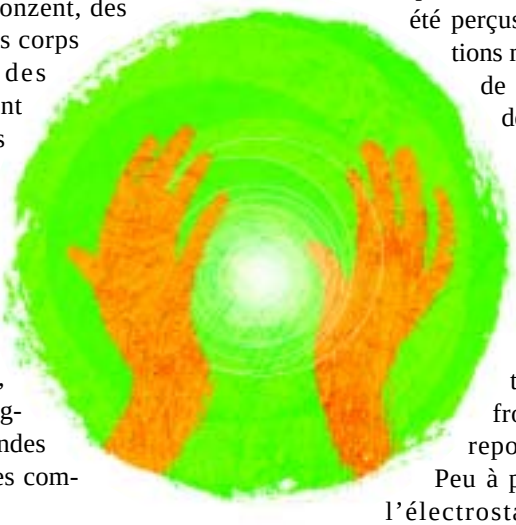
GLOSSAIRE p 38

Des ondes et des hommes...

La nature comporte de nombreuses sources de rayonnement électromagnétique : le soleil, la Terre, la foudre... Mais bien que l'électromagnétisme soit une donnée physique existant depuis que le monde est monde, de nombreuses années s'écoulèrent avant que l'Homme ne commence à comprendre vraiment les phénomènes... Où en est-on aujourd'hui alors que s'est généralisé l'usage d'outils de radiocommunications ?

André Marie Ampère

Notre Terre possède un champ magnétique, utilisé comme guide pour les boussoles de nos navigateurs... En tout point du sol terrestre, le champ électrostatique peut atteindre 200 Volts par mètre... A l'intérieur même de notre corps, des ondes de nature électrique se propagent le long de nos nerfs et dans notre cerveau. Partout, à l'état naturel, circulent des ondes électromagnétiques, qu'il s'agisse de la simple lumière visible, des rayons UV qui nous bronzent, des infrarouges émis par les corps chauds, sans parler des sources radios provenant de galaxies et autres quasars !...



Cependant, en dehors de quelques phénomènes perceptibles (la lumière, la foudre, les étincelles, les aurores boréales, les aimants...), l'homme a mis très longtemps à connaître les ondes électromagnétiques, à les comprendre et à les utiliser.

Les prémisses

L'histoire de l'électromagnétisme débute par un total cloisonnement entre magnétisme, électricité et ondes, dont les théories demeurent totalement décorrélées.

Du côté du magnétisme, c'est le philosophe grec Thalès de Milet qui fut le premier à s'interroger sur l'attraction entre le fer et un certain minerai provenant de la ville de Magnêsia : la magnétite. En Chine, on chercha avant tout à être pratique, et c'est ainsi que, cessant de s'interroger sur les propriétés magiques de ce matériau mystérieux, on lui trouva une application, au dix-septième siècle : orienter les navigateurs. Le principe de la boussole fut repris par les Arabes qui la complétèrent en traçant la rose des vents. Ces derniers à leur tour, transmirent ce savoir aux Occidentaux à l'époque des croisades. Qui saura dire l'importance de cette invention pour la découverte du monde par les grands navigateurs ? Mais ce n'est pas la seule application qui lui sera rattachée...

Côté électricité, la progression des connaissances sera également lente, malgré le génie précurseur de Démocrite, qui avait imaginé l'existence de particules élémentaires insécables : les atomes... Pendant longtemps, divers phénomènes (telle la foudre) ont été perçus comme des manifestations magiques et il est difficile de dater le commencement des recherches en matière d'énergie électrique. Jusqu'au début du dix-neuvième siècle, les connaissances se bornaient à quelques notions d'électrostatique : on savait que certains matériaux, une fois frottés, peuvent attirer ou repousser certains autres... Peu à peu, la connaissance de l'électrostatique s'est étayée : Franklin étudia le phénomène d'électrisation et précisa les notions de charges électriques positive et négative, Coulomb appliqua la loi de la gravitation aux charges électriques, Laplace introduisit la notion de potentiel pour décrire l'état électrique d'un ensemble de charges électriques. C'est Volta en 1800 qui révolutionnera le sujet en élaborant la première pile électrique. Cette invention permit notamment d'observer la réaction de divers corps parcourus par des charges électriques. Ampère, en 1820, donnera un nom au contenu de cette pile : "courant électrique".

Coté ondes enfin, les grecs ne furent pas très avancés. Tout au plus peut-on trouver quelques analogies à ce concept, chez Aristote (avec son idée de forme opposée à celle de matière) et chez le mathématicien Pythagore à la recherche d'harmoniques en résonance avec

Une aurore boréale

la nature... Et bien que les astronomes furent toujours passionnés par les phénomènes optiques, il faudra attendre Huygens, au dix-septième siècle, pour qu'apparaissent les premiers formalismes scientifiques des ondes. On découvrira plus tard que la lumière est une onde électromagnétique...

Les avancées scientifiques

Sans poursuivre plus avant cet inventaire historique, arrêtons-nous à l'année 1820…

Elle sera capitale : en effet pour la première fois, un physicien danois, Oersted, associe électricité et magnétisme, grâce à une expérience montrant qu'une aiguille aimantée tressaute quand on l'approche d'un fil traversé par un courant électrique. Une année plus tard, c'est Ampère, à nouveau, qui, interprétant l'expérience, en déduira une loi : le magnétisme provient du déplacement des charges électriques présentes dans le courant. Il faudra dix années supplémentaires à Faraday pour parcourir le chemin inverse et démontrer que le magnétisme peut générer du courant. Le lien bilatéral entre électricité et magnétisme était établi.

Les travaux de Faraday seront repris par Maxwell, qui ira beaucoup plus loin puisque la publication, en 1873, de son "Traité d'Electricité et de Magnétisme" peut être considérée comme l'acte de naissance de l'électromagnétisme. Il y introduit la notion de champ, avec un système complet d'équations permettant d'en calculer les variations dans le temps et dans l'espace. Il unifie les ondes, qu'elles soient lumineuses ou non. Il apporte l'outil qui permettra de calculer tous les phénomènes d'émission et de propagation. Hertz, quant à lui, s'attacha à vérifier les théories de Maxwell par l'expérience : en 1887, à partir d'un appareil électrique, il produisait des ondes électromagnétiques (dites hertziennes) et confirmait le fait que leur vitesse de propagation obéissait aux mêmes lois que celle de la lumière, ainsi que l'avait déclaré Maxwell. Et c'est à la fin du dix-neuvième siècle que les travaux de J.J. Stoney, J. Perrin et de J.J. Thomson permirent de mieux connaître la particule élémentaire porteuse de charge : l'électron...

Enfin, toutes ces idées seront complétées harmonieusement au vingtième siècle, avec le "point de vue" d'Einstein, qui nous révélera la nature profonde du magnétisme : le magnétisme provient d'un effet relativiste, il apparaît à cause du mouvement relatif entre la source électrique et l'observateur !

Les applications communicantes

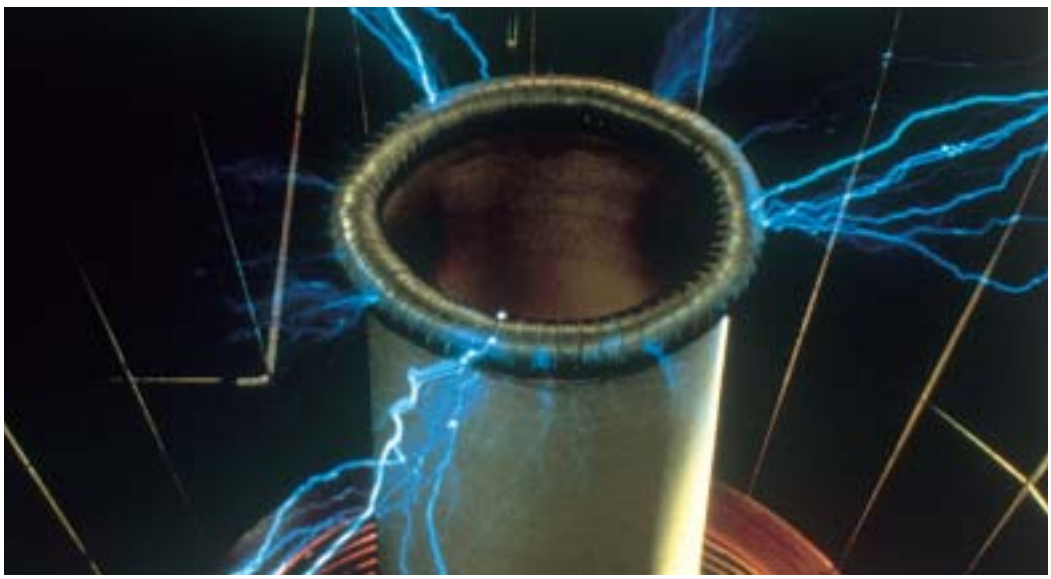
Nous voici arrivés au siècle des applications, dont l'impact immense se révèle aujourd'hui... Car il s'agit, ni plus ni moins, des radars, de la téléphonie mobile, de la radio et de la télévision !

Cependant il convient, pour être complet, de revenir en arrière, en 1794, au moment où Chappe installe ses "nouveaux" systèmes télégraphiques : ce sont les premiers sites de télécommunication...

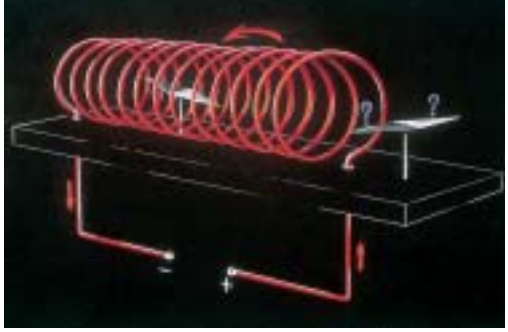
Revenons après cette parenthèse, fin dix-neuvième siècle : les développements technologiques vont être fulgurants : c'est l'invention du téléphone par Bell, c'est la première transmission de signaux hertziens en labora-

▲ La couronne solaire (10 août 1973)

▲ Première démonstration expérimentale de la nature électrique de la foudre, par Dalibard en 1752.



▲ Transformateur de TESLA (éclair électrostatique)



Solenoïde générant un champ électromagnétique

toire (par Popov en 1895), c'est enfin l'exploit de Marconi, qui réussit, à plusieurs reprises, à relier l'Europe et l'Amérique. Cela se passe en 1901. La TSF (Transmission Sans Fil) était née.

Quelques années seulement sépareront ces réalisations des premières expériences concrètes sur les images. Belin et Richtie (1902-1907) proposent l'ancêtre du "bélinographe" pour transmettre des photographies. Il faudra attendre la fin des années 20 pour que soient produites les premières émissions télévisées (au Japon en 1928 grâce à Tagayanagi, et aux USA en 1930 grâce à Zworykin), alors que les principes essentiels de la télévision étaient avancés dès 1843...

Quant à l'épopée de la radio, elle débute en France en 1922 avec la première émission diffusée à Paris depuis un émetteur sur la Tour Eiffel. En 1938, un centre radio grandes ondes, installé à Allouis, permet de diffuser sur toute la France. Un an plus tard, au même endroit, un second centre émetteur le complète, pour assurer une diffusion mondiale, en ondes courtes.

L'histoire de la télévision connaîtra une évolution similaire, à partir de 1935, date des premières émissions depuis la Tour Eiffel. Peu à peu, des moyens techniques sont mis en œuvre pour atteindre la province et l'international. Parallèlement à l'installation du réseau des sites TDF en France, se poursuit alors l'épopée de la radiotéléphonie puis, plus récemment, l'essor des radiocommunications individuelles : radiomessagerie, radiotéléphonie, téléphonie mobile...

Encore d'autres applications technologiques...

Il serait incomplet de réduire les seules applications de l'électromagnétisme à la radio, à la télévision et aux radiocommunications. Leur influence pratique est beaucoup plus vaste, comme en témoignent ces exemples :

- Le radar (RAdio Detecting And Ranging) permet de mesurer des distances par effet d'écho sur des objectifs militaires ou civils. Il est couramment utilisé de nos jours, dans des domaines extrêmement divers : navigation aérienne et maritime, contrôles routiers, mesures scientifiques...
- Les fours à micro-ondes permettent de cuire nos aliments en produisant une agitation des molécules d'eau.
- L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) est utilisée en médecine pour visualiser certains tissus, par traitement informatique d'ondes électromagnétiques dites de résonance, émises par le corps humain en réponse à un champ excitateur.
- Le LASER, qui utilise une onde électromagnétique, dans les fréquences optiques, pour opérer très sélectivement en chauffant différentes surfaces (peau, œil, ...). D'autres techniques opératoires existent aussi à des fréquences radioélectriques comme celles des micro-ondes.

Selon diverses gammes de longueur d'onde enfin, des détecteurs et des dispositifs de commande ont été mis au point et le sont encore aujourd'hui. Citons, pêle-mêle, les systèmes

La cartographie des ondes électromagnétiques

Classifiées selon leur fréquence (ou leur longueur d'onde), les ondes électromagnétiques couvrent un large spectre. Parmi ces ondes, les principales gammes suivantes sont utilisées pour les radiocommunications.

James Clerk Maxwell

Console de visualisation IRM

de détection en infrarouge, les appareils de gravimétrie, les télécommandes de toute sorte dans la gamme millimétrique ou autre...
On le voit, l'étendue des applications est très vaste, aussi vaste que les espoirs, fondés ou non, dont l'humanité a toujours rêvé...

La petite histoire du magnétisme

Il est une histoire parallèle de l'électromagnétisme liée à son éventuel pouvoir médical et profondément ancrée dans les croyances populaires. L'électricité et le magnétisme peuvent-il guérir ? La question, lancinante, a pris des allures fort variées, comprenant, au cours de l'histoire, des questionnements scientifiques avec des conséquences thérapeutiques mais aussi beaucoup d'idées farfelues, mêlant science et parapsychologie... Malgré le peu d'impact identifié sur les êtres vivants, ce sont ces questions médicales qui sont aussi sujettes à polémique au niveau du public, et lorsqu'on s'interroge sur la perception qu'il en a, le sujet s'avère beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord.
Avec l'émergence d'associations luttant contre l'implantation d'antennes d'émission et réclamant des mesures restrictives en matière de champ électromagnétique, on sent poindre des signes d'inquiétude dans le grand public. Diverses explications sont avancées pour analyser cette inquiétude : elle aurait pour origine les informations alarmistes véhiculées dans les médias, la complexité scientifique sous-tendant ces phénomènes serait à l'origine de l'égarement du grand public, il existerait une confusion entre rayonnements électromagnétiques et radiations nucléaires, l'amalgame avec les problèmes de santé publique (ESB, amiante, etc.) serait bien trop souvent fait... En effet, tous ces aspects jouent un rôle important et contribuent à forger les opinions du grand public. Mais il serait réducteur de s'arrêter à ces considérations qui proposent un modèle limité de la structuration de la pensée individuelle et sociale.

Les mécanismes psychologiques

Effectivement, si l'homme a une dimension sociale incontestable, chacun d'entre nous a également une dimension individuelle. Se centrer strictement sur les causes exposées ci-dessus reviendrait à penser que, premièrement, l'intégralité de la société a une opinion arrêtée sur ce sujet et, deuxièmement, que cette opinion est unanimement partagée. Ce n'est bien entendu pas le cas, preuve en est : le nombre de débats organisés autour des champs électromagnétiques où des personnes diverses et variées expriment leurs divergences, leurs certitudes et leurs croyances. Le mot est lancé : croyance. Ce sont nos croyances, fondées ou infondées, qui orientent nos conduites, nos actions. Mais à partir de quoi ces croyances se construisent-elles ?

Ce sont les représentations que nous avons de l'univers, des connaissances et de toutes choses en général, qui sont à l'origine de nos croyances. La représentation est une construction mentale de valeurs, de notions, de significations et de croyances établie à partir de connaissances, d'objets, de symboles et de mythes. Chacun d'entre nous construit ses propres représentations. Ce mécanisme individuel s'organise en fonction de différents paramètres : le fondement anthropologique de l'individu (transmission de valeurs : familiales, éducatives, culturelles, etc.), le contexte socioculturel dans lequel se situe la personne (messages médiatiques, ancrages sociaux, religieux, politiques, etc.) ainsi que les facteurs psychiques de chacun (histoire individuelle, personnalité, etc.). Les représentations contribuent, entre autres, à assurer la cohésion du groupe ; en effet, elles servent de repères à l'individu et lui assurent le sentiment d'appartenance à une communauté partageant des valeurs identiques aux siennes.

L'impact du magnétisme animal

On peut donc s'interroger sur la (ou les) représentation(s) associée(s) à l'électromagnétisme. Sans vouloir revenir sur l'histoire du magnétisme au XVIIIème siècle, la recherche en matière de magnétisme prit un nouveau tournant, dû aux vertus thérapeutiques qu'un médecin lui attribua. A partir de ce moment, le monde scientifique, qui jusqu'à présent tâtonnait en matière de magnétisme, s'est séparé en deux : d'un côté les savants strictement centrés sur les propriétés physiques et les applications pouvant en découler, et de l'autre côté, certains savants, rejetés par le reste de la communauté scientifique, qui développèrent des pratiques pour le moins étranges. Il s'agissait d'utiliser un "fluide magnétique" à des fins thérapeutiques. Le père de ce nouveau courant est allemand et se

Attraction-répulsion entre bobines parcourues par des courants électriques

Theophrastus Paracelse

Jean-Martin Charcot

▲ Boule à plasma (électrostatique)

nomme Franz Anton Mesmer (1734-1815). Il appelle sa méthode thérapeutique "magnétisme animal" : selon lui, il existe un fluide magnétique présent dans les aimants, qu'il qualifie de "magnétisme minéral", et par extension, il existe un fluide magnétique universel circulant entre les corps, le "magnétisme animal" ; Mesmer canalise ce dernier et, en le transmettant à distance, guérit ses patients. D'autres savants reprendront les travaux de Mesmer et les enrichiront. C'est ce courant qui débouchera sur la technique de l'hypnose.

Par ce biais, la connotation surnaturelle associée au magnétisme perdura. Et effectivement, l'analogie avec la sorcellerie se fait rapidement et sans peine. Mesmer prétendait guérir un patient grâce à un fluide magnétique invisible administré à distance. Dans la tradition, sorcières et magiciens jettent également des sorts invisibles et à distance ; tout comme pour la thérapie magnétique, le sort n'est visible que par le résultat qu'il produit (guérison, ensorcellement, exorcisme, etc.). C'est ainsi que le mythe s'est construit : en dépit du discours scientifique, le magnétisme s'inspire de pratiques magiques… Et pour répandre le mythe, les moyens ne manqueront pas : des séances de magnétisation collective seront organisées dans une atmosphère cérémoniale, les journaux relayeront ces expériences thérapeutiques, des cours seront dispensés, de nombreux ouvrages seront publiés sur ce sujet, les monarques des cours européennes plébisciteront la présence de Mesmer, de nombreux écrivains utiliseront le thème du magnétisme dans leurs œuvres littéraires (Hoffmann, Poe, Balzac, Dumas, Huysmans). A chaque fois, les récits mélangeront allégrement la magie et la science. Ce sujet fascinera tant que le magnétisme animal, né en Allemagne, bénéficiera d'une large publicité à travers toute l'Europe.

▼ Démonstration de l'isolation de personnes par cage de Faraday.

Magnétisme et surnaturel

Bien sûr, ce mythe ne parviendra pas consciemment jusqu'à nous. Néanmoins, il fait partie de notre patrimoine culturel et, à ce titre, est encodé dans notre mémoire collective. Si on considère les études actuelles des sociologues en matière de croyances paranormales, on s'aperçoit qu'en tête apparaissent les magnétiseurs : 54 % des personnes sont convaincues que les magnétiseurs ont un pouvoir de guérison. Dans le cas du mythe associé à l'électromagnétisme, ce dernier propose une classification, mais n'exprime aucun jugement de valeur sur ce phénomène. Hormis le fait de nous apprendre l'existence d'un étroit rapport avec les phénomènes surnaturels, il ne nous permet pas de savoir si l'électromagnétisme est bénéfique ou s'il faut s'en défier. En matière de sorcellerie, certaines manifestations sont considérées comme positives et bénéfiques (guérison, désenvoûtement, etc.) et d'autres comme négatives et dangereuses (occultisme, magie noire, etc.). Dans le cas de l'électromagnétisme, on retrouve une logique ambivalente identique. Ainsi qu'il a été exposé précédemment, on ne peut juger les ondes électromagnétiques qu'en fonction de l'effet qu'elles produisent. Ce résultat est enregistré comme positif ou négatif : lorsqu'il s'agit d'images que l'on regarde à la télévision, lorsqu'il s'agit de sons que l'on écoute à la radio, nous sommes alors dans le domaine de la détente, du loisir, de la recherche d'information, la sensation est plaisante et le résultat est perçu positivement. A l'opposé, le résultat est vécu comme négatif lorsqu'il s'agit d'une nouvelle antenne d'émission implantée dans le voisinage : elle est peu esthé-

tique, l'enchevêtrement métallique rend son mode de fonctionnement peu explicite et son installation ne provient pas d'une demande du riverain. D'ailleurs, il arrive parfois que des témoignages attestent la survenue de symptômes (insomnies, maux de tête, etc.) directement attribués au champ électromagnétique alors même que cette antenne n'est pas encore en activité. Cependant, on peut aller plus loin, car on ne peut pas envisager la perception des applications électromagnétiques sous l'angle d'une simple dichotomie positif/négatif. Il semblerait plutôt que chaque application soit disposée sur un continuum perceptif comportant une échelle de valeurs allant de positif = bénéfique jusqu'à négatif = dangereux. Dans la zone médiane de ce continuum, on retrouvera diverses applications, comme par exemple : le téléphone portable qui est un outil dont l'usage est très apprécié, mais qui comporte une antenne émettant des ondes électromagnétiques dans le voisinage immédiat du cerveau, le micro-ondes qui rend de grands services dans la vie quotidienne, mais qui peut laisser échapper des ondes électromagnétiques sans que l'on s'en aperçoive. C'est ainsi que chaque personne se construit une classification qui lui est propre.

Conclusion : pour une approche objective des phénomènes électromagnétiques

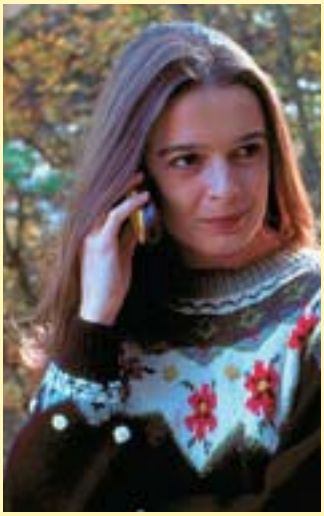
Avant d'aborder les questions posées par ce sujet complexe – et les réponses que permettent d'apporter des approches rigoureuses - il était nécessaire d'évoquer la délicate question des effets perçus.

Bien que nos connaissances ne soient pas encore exhaustives, elles ont considérablement évolué au cours du temps et on verra que nous disposons aujourd'hui d'un certain nombre de garants scientifiques. Cependant, malgré ces évolutions positives, il ne faudrait aucunement négliger l'existence des aspects psychosociologiques lors de l'évaluation de tout nouveau témoignage.

C'est pourquoi, à notre époque technologique qui voit se multiplier le nombre des applications électromagnétiques, il est nécessaire d'analyser prudemment tous phénomènes signalés :

- afin de mieux prévenir de nouveaux risques potentiels,
- et aussi pour éviter que ceux-ci ne deviennent un exutoire aux angoisses collectives.

Il s'agit là d'un objectif essentiel pour notre réflexion à propos des applications en radiocommunication.



▼ Influence d'un champ électrostatique (expérience d'horripilation)

Les exigences requises

Du site d'émission jusqu'au point d'utilisation du service transporté, les champs électromagnétiques sont susceptibles d'interagir avec l'environnement. Les divers effets potentiels impliquent de fortes exigences en matière d'ingénierie de services...

Les effets sur quoi et sur qui

Beaucoup de phénomènes électromagnétiques peuvent avoir des effets sur l'environnement, telle l'impulsion électromagnétique de la foudre ou encore les perturbations engendrées par les lignes d'énergie électrique (microcoupures, phénomènes transitoires...). En ce qui concerne particulièrement les radiocommunications, les exemples d'interactions demeurent multiples et variés, tout au long de la chaîne de transmission. Celle-ci comprend en effet :

- le site d'émission lui-même, qui est plongé dans un environnement préalable,
- les équipements de radiocommunication et les autres équipements (pouvant être brouilleurs ou brouillés), dont certains chez le consommateur final,
- les personnes impliquées (professionnels, grand public),
- l'environnement général, urbain ou rural.

Le tableau ci-dessous présente, à titre d'illustration, quelques unes des interactions possibles.

Action de : / sur :	Environnement	Equipements et sites
Environnement	- brouillages	- gestion des ressources et l'urbanisme
Equipements et sites	- rayonnements parasites provenant d'équipements électroniques (téléphonie, radio-émissions…) - rayonnements parasites dus aux sources d'énergie (soudage…) - alimentation électrique des sites - echos - foudre	- rayonnements essentiels - rayonnements non désirés - influences multiservices (analogiques, digitales…) - décharges électrostatiques - effets secteur
Personnes	- effets thermiques	- sécurité électrique

On le voit, le sujet est complexe et certaines exigences peuvent s'avérer contradictoires.

En ce qui concerne les équipements, il faut insister sur la double contrainte préludant à leur fonctionnement : qu'ils ne brouillent pas ni ne soient brouillés au-delà de seuils acceptables. Cela fait l'objet des méthodes de Compatibilité ElectroMagnétique (CEM).

En ce qui concerne les personnes, bien que les effets des champs électromagnétiques sur la santé fassent encore l'objet d'une recherche très active, on dispose, comme on le verra par la suite, d'un ensemble de connaissances permettant d'étayer les actions de prévention et de protection sur des bases objectives. Médicalement, il convient de distinguer les effets thermiques (liés à l'échauffement des tissus) des effets non thermiques (influence éventuelle des champs sur les circuits "informationnels" du corps humain). En appliquant la réglementation, les mesures à prendre seront adaptées selon qu'il s'agit de personnes professionnelles ou du grand public (personnes non informées ayant une plus grande diversité de profils).

Cependant, en général, les connaissances techniques actuelles permettent de bien maîtriser la plupart de ces enjeux. On dispose a priori de plusieurs règles pour limiter les influences des champs électromagnétiques. En voici quelques-unes :

- L'intensité des champs décroît avec la distance, ce qui permet d'en réduire les effets, d'autant plus que les rayonnements auront été émis avec une directivité adaptée aux services visés (techniques de conception d'antennes).
- Les fréquences utilisées peuvent être limitées aux gammes utiles afin de restreindre le plus possible les brouillages secondaires (techniques de filtrage).
- Les champs électromagnétiques se réfléchissent sur les surfaces métalliques fermées, ce qui permet d'en restreindre les effets par des maillages protecteurs divers (techniques de blindage, vêtements de protection).
- Enfin, une bonne gestion des risques permet de réduire globalement les effets secondaires. Il faut citer, dans cette optique, les techniques de planification des services, les méthodes de modélisation appliquées à la prévision et la prévention de ces risques, l'ensemble des réglementations établies aux niveaux national et international.

Avant de détailler ces sujets, passons à l'examen attentif des différents points de vue des acteurs concernés.

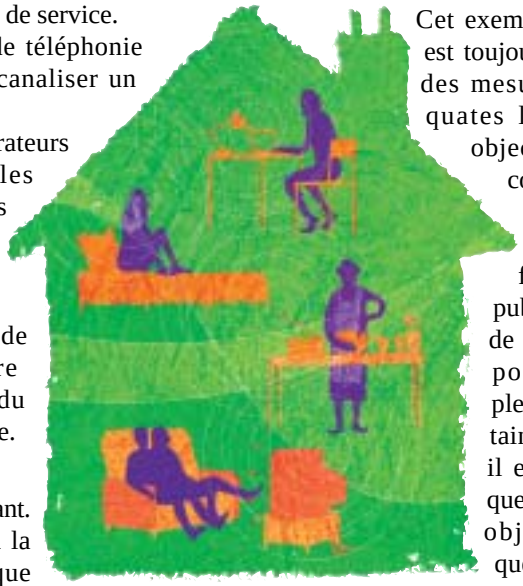
Des préoccupations variées tout au long de la chaîne

Au bout de la chaîne de transmission se trouve le consommateur final, qui bénéficie des services de plusieurs gammes de métiers, le fournisseur de services s'appuyant sur des opérateurs de

réseaux et les industriels produisant les équipements. Par ailleurs, le grand public et les professionnels constituent deux catégories devant être considérées à part entière.

Les consommateurs
Les consommateurs veulent avoir accès aux services (radio, TV, téléphonie mobile...) sans aucune contrainte excessive. Ils souhaitent bénéficier de la meilleure qualité possible et disposer d'équipements satisfaisants. Chacun de ces objectifs se traduit par des exigences diverses sur l'environnement électromagnétique (tableau page 11).

Les opérateurs de réseau
Ce sont eux qui émettent les champs.
Les fournisseurs de service n'interviennent pas directement, mais par l'intermédiaire des niveaux d'exigence de qualité de service qu'ils fixent au transporteur. Par exemple, les radios ou les chaînes de télévision souhaitent capter un auditoire maximal et le maintenir, avec un minimum d'interruptions de service.
Quant aux opérateurs de téléphonie mobile, ils souhaitent canaliser un maximum de trafic.
Il revient alors aux opérateurs de réseau de remplir les obligations contractuelles établies avec leurs clients (les fournisseurs de service), tout en respectant les contraintes de nature réglementaire régissant l'utilisation du spectre électromagnétique.



Les industriels
Ils jouent un rôle important. C'est d'eux que dépend la qualité électromagnétique des équipements d'émission ou de réception. Ils sont aussi responsables du respect des normes de sécurité électriques et électromagnétiques. Leurs équipements ne doivent pas émettre de rayonnements parasites au delà de limites spécifiées et ils doivent être suffisamment blindés pour résister aux gênes occasionnées par d'autres émissions présentes dans l'environnement proche.

Toutes ces exigences se conjuguent avec celles des personnes en tant que telles, qu'il s'agisse du grand public ou de professionnels.

Le grand public

Il n'est pas très facile d'avoir une idée précise et objective des requêtes émises par les personnes. Cela dépend du niveau d'information.
Aujourd'hui, le public est de plus en plus sensible au respect de l'environnement, de la sécurité et de la santé. Il n'est pas toujours informé correctement des réglementations encadrant ces sujets. Il en résulte des campagnes d'opinion qui ne sont pas toujours représentatives des exigences objectivement nécessaires.
Par exemple, le grand public réagira facilement à des aspects particulièrement visibles (par exemple l'esthétique des pylônes) tout en ignorant certaines décisions plus importantes. Il en a été ainsi - pour citer un exemple resté totalement inaperçu – de l'attribution de la fréquence 107,7 MHz aux radios d'autoroute FM synchrone. En allouant cette fréquence à ces émetteurs de faible puissance, on évitait des interférences gênantes avec certains systèmes de navigation aérienne (fonctionnant au-dessus de 108 MHz, dans la bande adjacente à la FM).
Cet exemple montre aussi qu'il est toujours possible de prendre des mesures préventives adéquates lorsqu'une approche objective est correctement conduite.
Enfin, contrairement aux populations professionnelles, le grand public fait souvent preuve de méconnaissance à propos de ces sujets complexes. Cela présente certains risques. Clairement, il est de l'intérêt de tous que le public soit informé objectivement sur ces questions sensibles.

Les professionnels

Les personnes côtoyant des champs électromagnétiques dans le cadre de leur métier sont en général mieux informées des effets potentiels. Il n'empêche qu'elles se posent des questions elles aussi. Afin de mieux cerner la demande de ses propres gens de métier, TDF a organisé une enquête auprès de toutes les catégories de personnels concernés (techniciens ou administratifs). Cette enquête, très complète, visait à mieux comprendre les attitudes des professionnels, tant au niveau des comportements qu'à celui de l'attitude psychologique. De nombreuses données intéressantes ont été recueillies.

▲ FM Synchrone

▼ Site TDF Nuits St-Georges

Tout ce qui peut se passer dans un site !

A la création d'un site, il faut prendre en compte les particularités de l'environnement existant, pour qu'il puisse fonctionner avec un minimum de perturbations réciproques... Cela se traduit par des prescriptions parfois complexes, mais nécessaires à la pérennité du site.

En ce qui concerne le pylône et le bâtiment, il faut considérer les conditions climatiques (pluie, vent, neige, température, pression, foudre, poussière…), voire la possibilité de catastrophes naturelles (tremblement de terre, inondations, cyclones…). En conséquence, les contraintes techniques peuvent différer fortement.

La forme allongée du pylône implique de grandes précautions quant à sa tenue au vents et aux vibrations. Il faut aussi choisir les bons maillages de matériaux pour éviter la corrosion.

D'autre part, les contraintes environnementales peuvent se révéler parfois contradictoires : peindre le pylône en gris clair pour qu'il se fonde dans le paysage, mais en rouge et blanc pour qu'il soit bien visible des aéronefs...

Les antennes doivent subir la neige et le vent. Il faut aussi minimiser leurs rayonnements proches non désirés et surveiller les phénomènes d'oxydation...

Les lignes filaires (alimentation en énergie ou lignes télécom) peuvent être l'objet de plusieurs nuisances, en milieu rural notamment : microcoupures de tension provoquées en forêt par des branches d'arbres ou à cause de la neige, transitoires électriques causés par des relais mal protégés, attraction de la foudre...

Bien entendu, il faut empêcher toute pollution chimique extérieure :

- en prenant grand soin des batteries chimiques et autres groupes électrogènes,
- en proscrivant certains matériaux interdits : amiante, matériaux radioactifs, etc.

La conception optimale d'un site est donc une question très complexe. Une excellente prise en compte des questions environnementales est indispensable au métier des gestionnaires de site.

▼ Centre émetteur TDF de Besançon

Il en ressort avant tout un intense besoin d'être mieux informé. En ce qui concerne la question délicate du lien entre exposition et effets éventuels sur la santé, il apparaît de grandes ambiguités. Pour pallier ces incertitudes, il semble même que certaines personnes concernées cherchent à se protéger psychologiquement, soit parfois en niant tout risque, soit en recherchant des discours faussement tranquillisants.

Au-delà des mesures réelles de prévention, de balisage et de protection, il est apparu clairement, à la suite de cette enquête, qu'il fallait renforcer les actions de sensibilisation, d'information et de formation. Cela s'est concrétisé par un plan complet, intégré dans le dispositif qualité de TDF. L'ensemble des mesures prises sera détaillé plus loin, dans le cadre de la présentation du savoir-faire de l'entreprise.

Le cas des collectivités locales

Proches du terrain et disposant d'un pouvoir d'information et d'action, les collectivités locales sont appelées à jouer un rôle de plus en plus important dans ce domaine. Elles s'impliquent de plus en plus comme relais, à la charnière des préoccupations des administrés et des règles à établir et à faire respecter. Leurs exigences, concernant le développement harmonieux de la ville et la protection du public, se conjuguent avec toutes les nécessités de l'environnement, liées au patrimoine architectural, au schéma directeur d'urbanisme, etc. Bref, elles tendent à devenir un aiguillon, faisant évoluer les pratiques de prévention et de protection.

De plus, elles peuvent constituer une source pertinente de données réelles.

Quelques-uns de ces aspects seront illustrés plus loin dans le cas de la communauté urbaine de Lyon (voir interview de Philippe Ritter).

L'environnement électromagnétique, un métier de spécialistes

Cette première présentation ne serait pas complète s'il n'était mentionné l'existence de la réglementation, qui fixe les limites et les cadres à respecter.

Au niveau international, l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) définit des recommandations techniques permettant aux divers services de cohabiter harmonieusement. Des limites de puissance, des gabarits de fonctionnement, des critères de protection radioélectrique y sont établis par consensus.

Au plan européen, la Commission Européenne complète réglementairement le dispositif par ses directives propres.

En France, l'ANFr (Agence Nationale des Fréquences) a la responsabilité générale de l'utilisation du spectre, de la surveillance et du contrôle des ondes. Elle gère le partage des fréquences ainsi que les conflits éventuels. Elle surveille l'établissement des sites radioélectriques et elle peut spécifier les limites techniques supplémentaires à imposer aux émissions.

Dans leurs domaines respectifs, le CSA et l'ART gèrent et réglementent plus précisément les bandes de fréquences dont ils ont la responsabilité pour l'audiovisuel ou les radiocommunications privées. Ils veillent à l'usage optimal de leur spectre et à la protection des réceptions correspondantes.

Les dispositifs réglementaires constituent donc un premier niveau de sécurité pour respecter toutes ces exigences en matière d'environnement. Nous les décrirons plus loin.

Cependant, le gestionnaire de sites d'émission figure en première ligne, puisque la plupart des rayonnements émis proviennent de chez lui... Il doit donc développer une expertise en compatibilité électromagnétique. Il doit soigner particulièrement l'ingénierie de ses sites et de ses réseaux. Il lui faut détecter et analyser les causes potentielles de dysfonctionnement, jusqu'à la réception. C'est par sa capacité d'étude et d'expertise que TDF a pu se maintenir au plus haut niveau adéquat, lui permettant de prévenir et de contrôler les effets envisagés, pour ses besoins propres comme pour celui de ses clients impliqués.

L'environnement radioélectrique
Conséquences des exigences de qualité de service des consommateurs et du grand public

Fiabilité	- Les puissances d'émission et les portées doivent être suffisantes - La planification des fréquences doit être optimale. - La réutilisation d'une fréquence sur un autre site ne doit pas perturber. - Des solutions évitant les discontinuités doivent être imaginées dans le cas de la mobilité : ne pas perdre le signal en changeant de cellule ou en passant sous un tunnel...
Qualité	- Pas de parasite sur le son, pas d'image fantôme sur le téléviseur, pas de disparition inopinée de l'image numérique : • Nécessité d'installations de réception soignées. • Eviter les échos renvoyés par l'immeuble proche, la grue voisine ou le champ d'éoliennes nouvellement installé... • Le réseau câblé de l'immeuble doit être de bonne qualité et pourvu de filtres. Pour éviter les brouillages, il faudra, dans certains cas, réaménager le plan de fréquences du réseau câblé. • Le consommateur devra respecter les notices d'installation et d'utilisation !...
Protection de l'environnement et de la santé	- Les demandes du grand public impliquent un respect scrupuleux des normes et réglementations en matière de protection de l'environnement, de la sécurité et de la santé, ainsi qu'une veille active sur tous ces sujets. - Les consommateurs génèrent aussi des perturbations électromagnétiques... - Importance de l'information.
Aspects techni-co-économiques	- Pour les équipements, s'assurer de la conformité aux normes européennes (sécurité électrique, blindage électromagnétique) et consulter les résultats de tests associatifs. - Prévoir les surcoûts liés au masquage des sites.

Conséquences des exigences des fournisseurs de services et de réseaux

Fiabilité	- Exigences transmises aux opérateurs pour garantir la continuité de services. - Le réseau doit assurer les couvertures radioélectriques demandées sans perturber d'autres sites ou réseaux. Le choix des sites d'émission, l'ingénierie des installations rayonnantes et le respect des gabarits d'émission y contribuent (pas de rayonnement hors fréquence nominale).
Qualité	- Les exigences sont transmises aux opérateurs, avec nécessité de mesures de contrôle. Cependant, les obligations contractuelles obligent à anticiper et à prévoir au maximum toutes les perturbations pouvant interrompre ou dégrader l'émission : foudre, dysfonctionnements électriques, intermodulations… D'où l'application de mesures de redondance et de fiabilisation des réseaux. - Les risques de gênes réciproques sont accentués par l'utilisation de multiples fréquences sur un même site ou pylône.
Protection de l'environnement et de la santé	- Assistance aux opérateurs pour répondre aux exigences réglementaires et aux demandes locales. - Regrouper les émissions de toutes sortes sur un site unique facilite la protection. - Une bonne connaissance des phénomènes de rayonnement à proximité des antennes est importante pour déterminer les distances de sécurité.
Aspects techni-co-économiques	- Le partage d'infrastructure permet de mutualiser des équipements et d'étaler les investissements [1]. - L'opérateur doit organiser une utilisation maximale des sites d'émission, tout en veillant avec soin à l'absence de perturbations induites, grâce à des techniques de blindage et de filtrage des équipements multiples. - De plus en plus de matériels informatiques contribuent à réduire les coûts en automatisant les processus. Il faut aussi respecter la sensibilité de ces équipements aux champs ambiants...

(1) Différentes études ont révélé une possible réduction des coûts d'investissements en infrastructures 3G allant de 10% à 40% selon le degré de partage consenti entre plusieurs opérateurs.

Le bruit électromagnétique

En dehors des champs naturels, l'activité humaine génère toute sorte de signaux perturbateurs :
- soit par la génération directe de l'onde électromagnétique pour utiliser de l'énergie (lignes haute tension, soudage à l'arc par exemple) ou pour transporter de l'information (réseaux télécoms)
- soit par le biais d'équipements électriques et électroniques de toute sorte, qui génèrent de faibles niveaux électromagnétiques parasites en fonctionnement normal.

Les "consommateurs" de rayonnements radioélectriques sont aussi, bien souvent, générateurs de perturbations de toute nature, car le signal utile nécessaire au fonctionnement d'un équipement est souvent un signal perturbateur pour un autre ! Les scooters, perceuses, commutateurs électriques, aspirateurs et autres micro-ordinateurs en constituent quelques exemples... Et à la réception, des installations peu conformes ou vétustes vont contribuer aux brouillages : mauvaises mises à la terre, couplages antennes-câbles, proximité courants faibles – courants forts, phénomènes de corrosion...

Personne ne souhaitant revenir au temps de la bougie et de la plume d'oie, il a donc fallu que les industriels et les opérateurs assurent la meilleure Compatibilité ElectroMagnétique possible, et respectent les limites réglementaires. Le consommateur, quant à lui, dispose d'un premier élément de contrôle : le marquage CE, obligatoire depuis le 1er janvier 1996 (le logo correspondant devra faire référence à la directive CEM 89/336 : à vérifier ou, sinon, consulter la notice de l'appareil afin d'y trouver le certificat CE de type).

▲ Site TDF de Bordeaux

Philippe Ritter est docteur en médecine. Spécialisé très tôt dans les mesures de santé publique, il préside depuis plus de vingt ans aux actions de l'agglomération lyonnaise en matière d'hygiène et de santé publique. Il participe activement aux travaux des diverses associations spécialisées dans ce domaine. Il est aussi l'auteur de nombreuses publications ou communications scientifiques sur la pollution atmosphérique et la mesure ou le contrôle de diverses pollutions urbaines d'origines chimique, physique ou biologique.

L'écologie urbaine de la ville de Lyon

Interview de Philippe Ritter,
Directeur de l'Ecologie Urbaine de la ville de Lyon

La ville de Lyon a inauguré une approche originale en négociant une charte contractuelle avec les opérateurs de téléphonie mobile. Comment en êtes-vous venu à cette charte ? A quelles préoccupations majeures de vos administrés répond-elle ?

Philippe Ritter :
Dans le cadre de nos multiples activités visant à contrôler l'environnement urbain, nous nous sommes intéressés aux rayonnements électromagnétiques depuis un peu plus de trois ans. Clairement, ce fut sous la pression de l'opinion. Par nature, les mairies se situent à l'avant-scène des préoccupations de leurs administrés ; or à cette époque, nous avons été saisis par diverses demandes, ponctuelles ou organisées, des inquiétudes... Les antennes provoquaient-elles des maux de tête ? Etaient-elles à l'origine d'insomnies ressenties ? etc. Il est d'ailleurs remarquable que ces plaintes ne portaient pas sur l'audiovisuel... Il faut croire que la radio et la télévision disposent d'un passé suffisamment convaincant ! La radio et la télévision sont des techniques éprouvées, elles bénéficient d'un effet de recul rassurant et elles sont acceptées depuis longtemps. De plus, les antennes de réception sont passives : elles sont donc perçues comme moins dangereuses.
Cependant, nous avons voulu étayer plus sérieusement nos réponses. Alors nous avons rassemblé le petit groupe de nos responsables internes (télécommunications, urbanisme, etc.), pour réfléchir : comment nous faire une opinion ? comment répondre de façon pertinente et argumentée aux interrogations du public ? Bref : comment bâtir une politique municipale sérieuse ? Nous avons examiné la littérature, les publications scientifiques parfois controversées, les arguments de militants divers, les balbutiements de la normalisation... et l'état de nos connaissances... pour constater que nous ne disposions même pas d'un état précis de la situation ! Il fallait donc, tout d'abord, savoir combien d'antennes il fallait considérer, de quelle sorte elles étaient, à qui elles appartenaient, comment elles fonctionnaient, quels étaient leurs rayonnements, etc. Mais comment obtenir ces informations locales précises, alors que la municipalité ne dispose pas des moyens techniques ou financiers pour faire des mesures, dresser des cartes ? C'est alors que nous avons eu cette idée de charte avec les opérateurs de téléphonie mobile..

En quoi une telle charte pouvait-elle répondre à vos préoccupations

Philippe Ritter :
Nous sommes partis de l'idée qu'il faut faire confiance aux compétences des spécialistes. Comment pouvions-nous avoir les informations techniques sans faire appel aux opérateurs ? De même, comment aurions-nous pu prendre position à propos des seuils sanitaires, sans les travaux des médecins ? Il nous fallait appliquer les normes résultant des études officielles (la norme européenne, le rapport Zmirou, puis le décret français plus récent). Encore aujourd'hui, nous n'avons aucun argument sérieux pour remettre en cause ces réglementations : il suffit de les appliquer !...
Mais revenons à la charte. Nous avons donc voulu établir une coopération contractuelle avec les opérateurs. Voici comment cela fonctionne. Les opérateurs nous apportent l'information. Ils s'engagent, notamment, à nous fournir un dossier technique complet pour toute nouvelle installation d'antenne de téléphonie mobile (bien entendu, nous sommes liés par un engagement de confidentialité commerciale). En contrepartie, nous leur apportons la caution d'une grande ville, une grande métropole réputée pour son sérieux, tournée vers l'avenir et les nouvelles technologies : nous acceptons la téléphonie mobile, nous installons leurs antennes sur nos bâtiments publics.
Mais cette confiance réciproque repose sur des éléments sérieux. C'est ainsi que nous avons mis au point et lancé une campagne de mesures, pilotée par nos soins : ces mesures suivent le protocole de l'ANFr et elles sont confiées à des sociétés privées, distinctes des opérateurs. De plus, la charte a été l'occasion pour nous, de faire appliquer les réglementations européennes, un peu avant leur instauration officielle en France.

Les résultats répondent-ils à vos attentes ?

Philippe Ritter :
On peut le dire dès maintenant, alors que la campagne de mesures apportera encore sa moisson de résultats, à raison de neuf sites mesurés chaque année (trois par opérateur)... Cette charte était, à notre avis, le seul moyen

efficace nous permettant de répondre à notre préoccupation essentielle : disposer effectivement d'une information technique opérationnelle, sûre et précise, en tenant compte de nos limitations de moyens. Alors, nous pouvons répondre en connaissance de cause aux demandes du public, alors, nous pouvons faire appliquer les réglementions légales. D'ailleurs, les opérateurs s'engagent à intervenir en cas d'installations qui s'avéreraient non conformes.
Incidemment, la charte inclut également des préoccupations de protection du paysage et les opérateurs font beaucoup d'efforts pour cela aussi.
Les résultats sont donc très encourageants. D'ailleurs, nous avons obtenu un accueil très favorable de l'opinion publique et cette charte semble faire des émules : d'autres municipalités s'y intéressent et notre approche pourrait servir de prototype au niveau national...

Cette charte porte sur la téléphonie mobile. Comment voyez-vous la situation particulière de l'audiovisuel ?

Philippe Ritter :
Comme je l'ai dit plus haut, nous nous sommes centrés sur la téléphonie mobile afin de répondre précisément aux questions posées par le public. Cependant, nos mesures incluent déjà l'ensemble des rayonnements électromagnétiques. De plus, la charte prévoit la possibilité d'étendre son application à d'autres normes.

Pour ce qui est de l'audiovisuel, nous n'avons pas d'éléments objectifs pour en faire un sujet de préoccupation sanitaire. Les rayonnements émis par les sites de diffusion de la radio ou de la télévision sont bien connus. Il sont aujourd'hui soumis aux seuils réglementaires prévus par le rapport Zmirou. De plus, la notion de sites sensibles a été institutionnalisée, bien qu'aucune raison scientifique ne l'obligeait : c'était pour répondre à une angoisse du public. Voilà quelle est la situation aujourd'hui.

Il apparaît cependant une nouvelle donne, avec la multiplication des services et le développement de sites plus réduits, mais plus nombreux qu'auparavant. Qu'en sera-t-il du cumul des champs générés par ces multiples services ? Je ne suis pas spécialiste, mais il me semble que le problème est plus complexe...

Cela nécessitera peut-être que nous élargissions l'étendue de nos enquêtes, d'autant plus que nombre d'antennes locales de radiotransmissions diverses fleurissent en ce moment sur nos toits ! A tel point que nous venons d'instaurer une convention-type pour l'occupation des toits de la ville. Objectif : examiner en amont les questions de compatibilité, et gérer les conflits si nécessaire ! Bien entendu, cette convention est éventuellement généralisable à toute la ville...

En résumé, les experts auront certainement beaucoup de travail à l'avenir pour gérer les sites de nouvelle espèce. Quant à nous, collectivité locale, il nous faut observer et nous tenir prêts à réagir éventuellement.

L'arrivée du numérique et l'instauration de sites multiservices constituent en effet un nouveau contexte. Par rapport à cela, comment voyez-vous évoluer sur le moyen ou long terme vos préoccupations concrètes de responsable d'écologie urbaine ?

Philippe Ritter :
Non seulement les pylônes transmettent la radio, la télévision et les services associés, mais ils hébergent aussi des services vitaux pour la sécurité : pompiers, Samu, par exemple !... Incidemment, cela ne simplifie pas les décisions d'écologie urbaine...
De plus, la multiplication des sites et des services provoquera, à mon avis, un accroissement des interrogations du public. Parce que les antennes se voient... Parce que les sites multiservices sont plus complexes. Or, les situations complexes paraissent incertaines et elles risquent de susciter des interrogations protéiformes, voire la désignation de "cause émissaire", phénomène pouvant être amplifié par les médias... Il me paraît donc évident qu'il faudra, à l'avenir, faire face à davantage d'interrogations venant du public.
On assistera également à une multiplication des partenaires impliqués : nouveaux métiers, on l'a dit, nouveaux opérateurs, associations de consommateurs, acteurs européens....
Mais notre démarche est maintenant rodée, elle est disponible pour les défis de l'avenir.
Finalement, les interrogations du public (fondées ou non) auront eu le grand mérite de nous pousser dans la bonne direction : essayons, ensemble, de prévoir et de prévenir.

Lyon : Place Louis Pradel et annexe de l'Hôtel de Ville

Colline de Fouvière : Basilique et site TDF.

Champs électromagnétiques et Santé

Interview de Luis Miro

Professeur Honoraire des Universités en Biophysique Médicale

Avec une double formation de médecin et de physicien, Luis Miro est un expert des effets sanitaires des ondes électromagnétiques. Il a été conseiller auprès de la plupart des organisations internationales concernées.

Professeur Miro, comment êtes vous devenu un spécialiste de l'influence des champs électromagnétiques sur la santé ?

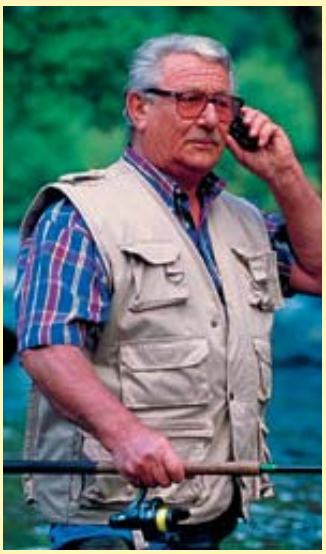
J'ai abordé le sujet à l'occasion de mon service militaire : à l'époque (fin des années 50), on ne s'intéressait pas aux effets des ondes radar, cependant lors de consultations médicales du personnel militaire de la base aérienne à laquelle j'étais affecté, j'ai pu établir la corrélation existante entre l'état d'hyper somnolence de certains personnels et leurs postes de travail situés dans la zone très proche des radars de la base. A partir de là, dans le cadre du Centre d'Etudes et de Recherches de Médecine Aéronautique, pendant une dizaine d'années, diverses études portant sur les effets biologiques de l'exposition d'animaux aux ondes radar ont été menées. Parallèlement d'autres recherches commençaient à être réalisées tant dans la sphère occidentale que soviétique, et les premiers documents de sécurité OTAN et soviétiques vis-à-vis des champs électromagnétiques sortaient... Nommé Professeur de Biophysique Médicale à la faculté de Montpellier-Nîmes, j'ai poursuivi mes recherches sur les effets des ondes radioélectriques sur la santé. L'étude bibliographique des résultats des diverses expérimentations effectuées mondialement montrait toute la difficulté d'obtenir des résultats reproductibles. Cela semblait lié aux multiples paramètres d'exposition des animaux, qui variaient pour chaque étude. Par ailleurs, l'absorption du rayonnement, donc son effet, étant fonction de la taille de l'animal, la comparaison des résultats s'en trouvait complexifiée.

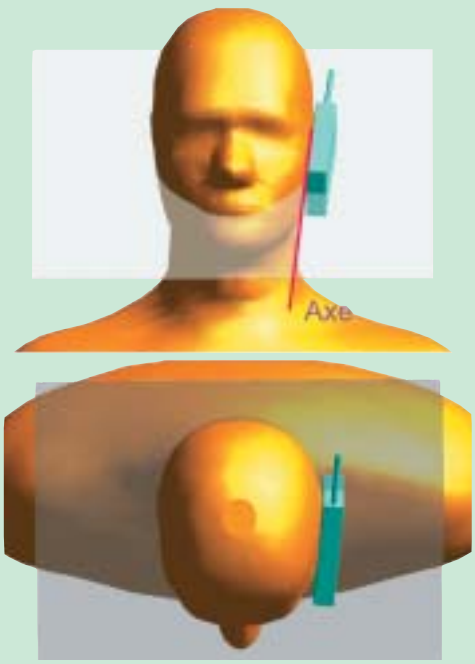
Devant cette situation et afin de définir l'éventuelle nocivité des expositions humaines rencontrées dans la vie quotidienne, nous avons décidé vers 1995 de réaliser des études directement sur des volontaires, en particulier en ce qui concerne l'effet des téléphones cellulaires.

Au cours de toutes ces années, j'ai participé activement aux réunions des organismes nationaux et internationaux (en particulier OMS) qui ont été amenés à se pencher sur la question.

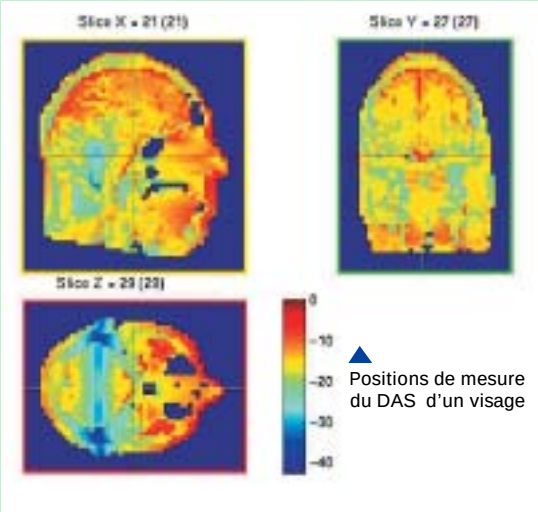
Y a-t-il eu suffisamment d'études et d'expertises sur les différents effets des ondes radioélectriques sur le corps humain ?

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, il y a eu beaucoup d'études. Ce sont les militaires qui ont commencé avec les radars. Deux grands courants essentiels de recherches se sont déployés : pendant que les pays occidentaux étudiaient les effets des fortes puissances, c'est-à-dire les effets thermiques, la sphère soviétique abordait plutôt les faibles puissances et la question des expositions chroniques, mais avec des méthodes dont la rigueur fut très contestée... Cependant, malgré le nombre de résultats dont nous disposons, nous avons beaucoup de mal à évaluer précisément l'effet des ondes radioélectriques sur la santé, en particulier en ce qui concerne les expositions chroniques à faible niveau..





▲ Fantôme SAM (Specific Anthropomorphic Mannequin) défini dans les normes pour la mesure du DAS (Densité d'Absorption Spécifique)



▲ Positions de mesure du DAS d'un visage

Que savons-nous avec certitude ? Qu'ignorons-nous ?

En ce qui concerne les expositions à de fortes puissances, qui ne surviennent qu'en milieu professionnel et dans des situations très particulières, les effets sont essentiellement thermogènes. Le rayonnement se transforme en chaleur à l'intérieur du corps, ce qui fait croître la température corporelle interne. Tant que les mécanismes physiologiques de thermorégulation (accélération du rythme cardiaque, transpiration, etc.) permettent une élimination normale de la chaleur emmagasinée, aucun effet pathologique n'est noté. En revanche, si les limites de la thermorégulation sont dépassées, on peut enregistrer des signes assez similaires à ceux d'une grosse fièvre. Cependant, il faut remarquer que l'augmentation thermique étant perçue par le sujet, celui-ci à tendance à fuir l'exposition. En définitive, les effets thermiques considérés comme graves ne peuvent se produire qu'avec des émetteurs extrêmement puissants, présents dans quelques rares sites professionnels, et ne laissant pas au sujet exposé le temps de sortir du champ. Une mention particulière pour la cataracte, souvent évoquée comme l'un des dangers caractéristiques de l'exposition aux radiofréquences. S'il est exact qu'expérimentalement, sur des animaux, on a pu produire des cataractes par exposition aux radiofréquences, les puissances utilisées sont très nettement supérieures à celles auxquelles peuvent être soumis les hommes au cours de leurs occupations habituelles. En revanche, pour des personnes présentant (pour une raison médicale quelconque) une cataracte, il semble que l'exposition aux radiofréquences de fort niveau puisse en accélérer l'évolution. Il est donc recommandé de ne pas exposer professionnellement une personne présentant ce type de pathologie. A côté de ces effets thermogènes bien connus, il existe des effets biologiques que certains ont dénommé "athermiques" ou "spécifiques" qui ne semblent pas liés à l'élévation de la température centrale et qui surviendraient pour des expositions beaucoup plus faibles mais de durée très longue ou répétitive.

Alors, que savons-nous sur ces effets non thermiques ?

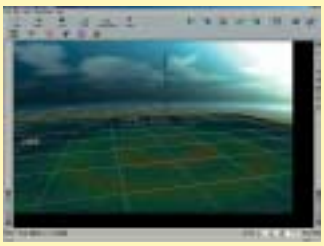
Tout d'abord, il faut remarquer que l'homme agit sur les champs électromagnétiques ambiants en les réfléchissant. A titre d'exemple, chacun peut constater l'influence de ses déplacements dans une pièce, par rapport à l'antenne intérieure de réception d'un téléviseur ou d'une radio, sur la qualité de réception de l'appareil....
Ces interactions ont conduit à s'interroger sur l'existence d'effets autres que les effets thermogènes. Et plusieurs types d'effets ont été suspectés.

Les armes de la recherche

La recherche sur les effets biologiques et sanitaires des ondes radioélectriques dispose de plusieurs méthodes désormais classiques :

- Les études in vitro (analyse de cellules ou de prélèvements tissulaires cultivés en dehors de l'organisme) apportent d'intéressantes données au niveau fondamental, mais elles sont difficilement exploitables directement pour les applications humaines.
- Les expériences sur les animaux fournissent d'intéressantes orientations indicatives, bien qu'elles ne soient pas directement transposables à l'homme, de par les effets de taille.
- Les études sur des personnes volontaires sont très lourdes à mener, tant sur le plan technique qu'administratif, mais ce sont les seules dont les résultats soient immédiatement exploitables en terme de protection sanitaire.
- Les études épidémiologiques sur des populations humaines exposées sont encore insuffisantes en nombre : elles sont difficiles à mettre en œuvre et souvent à interpréter, à cause de biais divers.

Par ailleurs il faut signaler que les études épidémiologiques ou sur volontaires sont extrêmement coûteuses et nécessitent souvent une collaboration de plusieurs équipes internationales.



▲ Logiciel de simulation en 3D de France Télécom R&D

Enfin, sans qu'elle se substitue aux autres méthodes, la modélisation informatique commence à jouer un rôle de plus en plus significatif. Elle permet, en effet, de simuler des expériences difficiles à réaliser (pour des raisons éthiques, pratiques ou économiques), de calculer des champs difficilement mesurables, de représenter divers effets physiques ou biologiques de façon quantitative, etc.
C'est l'ensemble de ces méthodes, dont les résultats confrontés permettent de faire avancer les connaissances.

En premier lieu, les cancers et les leucémies ont été évoqués, et dans un deuxième temps, des effets physiopathologiques portant sur les systèmes nerveux et endocriniens.

Quels sont donc ces effets, s'il y en a ?

En ce qui concerne le cancer, soyons clairs : aux puissances et fréquences couramment utilisées, les ondes électromagnétiques ne peuvent pas provoquer le cancer. Cependant, si, chez une personne, il existe un cancer préalable, un doute persiste, dans certains cas, sur l'éventualité d'un effet "co-promoteur", c'est-à-dire une participation avec d'autres facteurs au développement de ce cancer. C'est à ce niveau que se situe l'incertitude aujourd'hui. Pour cette raison, il est recommandé par prudence de ne pas exposer professionnellement une personne ayant eu un cancer. C'est le principe de précaution qui s'applique ici. Scientifiquement, on ne sait ni exactement, ni avec certitude si l'effet co-promoteur est réel et dans quelles conditions exactes il agirait. Des recherches dans ce domaine sont en cours.

▲ Appareil de mesures de niveau de champ

Autre problème soulevé : utiliser un téléphone cellulaire a-t-il un effet sur le cerveau ?

De nombreuses études ont été effectuées sur ce sujet. Tout d'abord il est à noter que le cerveau est le seul organe pour lequel nous connaissons exactement l'énergie radioélectrique absorbée par chacun de ses constituants. Cela a été possible grâce à l'important effort de modélisation informatique réalisé dans le monde et en particulier en France. Ainsi a-t-on pu démontrer que 10 à 15 % seulement de l'énergie rayonnée par un téléphone cellulaire, soit une trentaine de mW au maximum, était absorbée par le cerveau. Cette énergie entraîne un certain nombre de modifications physiologiques telles que des variations légères de l'électroencéphalogramme et peut-être des changements de la physiologie de certaines cellules cérébrales (perméabilité de la barrière hémato-encéphalique). Cela ne veut pas dire pour autant qu'il y ait des conséquences nuisibles sur la santé.

En ce qui concerne les modifications électroencéphalographiques, il semblerait qu'elles soient seulement physiologiques, mais ceci reste encore à prouver. Quant aux modifications de la barrière hémato-encéphalique, des études sont en cours pour évaluer leur impact sur la santé.

Abordons maintenant la question des porteurs d'implants...

Les porteurs d'implants doivent être prudents.... On distinguera cependant : les implants actifs et les implants passifs.
Pour les porteurs d'implants actifs (pacemakers, stimulateurs divers, implants cochléaires), le problème est réel car le fonctionnement de ces appareils peut être modifié par l'exposition aux champs électromagnétiques. Les appareils ne sont sensibles que lorsqu'il existe des fils implantés, comme dans le cas des pacemakers, ceux-ci peuvent se comporter comme des antennes réceptrices

et transmettre à l'appareil un signal, qui peut en modifier le fonctionnement. Ce dysfonctionnement dépend de la forme du "câblage" utilisé et de la morphologie du patient. De ce fait, il est impossible dans les conditions actuelles de connaître la sensibilité aux effets des champs électromagnétiques d'un pacemaker implanté. Des études sont actuellement en cours pour préciser ce dernier point.

En ce qui concerne les implants passifs (broches implantées après fractures, clous, plaques, etc.), certains porteurs peuvent ressentir des effets mineurs, tels que picotements ou démangeaisons, désagréables mais sans aucun danger sanitaire.

Existe-t-il d'autres pathologies à surveiller ?

De l'étude des résultats expérimentaux, il s'avère que l'exposition ne semble avoir aucun effet sur des sujets en équilibre physiologique. Mais s'il existe un déséquilibre, l'exposition peut entraîner une modification de celui-ci. Ainsi, en ce qui concerne l'épilepsie, nous avons fait écouter pendant deux heures un téléphone cellulaire à 30 épileptiques connus et stabilisés grâce au traitement. Cinq, dont le foyer épileptique était pratiquement en contact avec les téléphones, ont présenté après exposition de très légers signes électroencéphalographiques d'épilepsie sans aucune traduction clinique, les 25 autres n'ayant eu aucune réaction. Devant ces résultats, des études complémentaires sont en cours pour préciser l'impact sanitaire de cette constatation.

Certaines personnes se sont plaintes de maux de tête, de troubles du sommeil, d'irritabilité ou de modifications sanguines, que faut-il en penser ?

Deux cas bien différents... Aucun effet sur le sang n'a été prouvé : C'est pourquoi cela ne sert à rien de faire des prises de sang pour surveiller des personnes exposées.

En revanche, il est légitime de penser qu'une exposition aux ondes radioélectriques puisse provoquer certains maux de tête (sans gravité), de par les effets vasodilatateurs cérébraux que cette exposition peut entraîner.

Par ailleurs, certaines personnes peuvent ressentir divers effets, tels que des troubles du sommeil ou une irritabilité passagère, voire certains troubles digestifs ou des palpitations. Pour ces symptômes, la difficulté est de relier le trouble ressenti à l'exposition ! En effet, ceux-ci ne sont pas spécifiques et peuvent

Site TDF de Niort

Effets biologiques ou physiologiques ?

Il faut absolument faire la différence entre un effet biologique ou physiologique, qui peut être une réaction naturelle de l'organisme à un stress, une agression physique ou chimique, et un effet sanitaire, qui correspond à un dépassement des possibilités de compensation normale de l'organisme et qui entraîne de ce fait une altération de l'état de santé. Prenons l'exemple du bain de soleil : une exposition d'une durée modérée entraîne une augmentation de la circulation sanguine cutanée (rougeurs), de la transpiration et à la longue un bronzage, phénomènes physiologiques réversibles et sans aucun danger. Si l'exposition au soleil est beaucoup plus importante, on risque alors un coup de soleil, qui n'est autre qu'une brûlure, et des symptômes généraux tels que maux de tête, nausées, voire vomissements, phénomènes ayant dépassés les limites physiologiques mais encore réversibles grâce au traitement. En revanche, une exposition chronique au soleil augmente de façon très importante le risque de survenue d'un cancer cutané, phénomène franchement pathologique et non réversible.

Antenne triaxiale pour la mesure de champs électromagnétiques

être provoqués par bien d'autres causes... De plus, chacun de nous ne réagit pas de façon identique. D'où la notion d'hypersensibilité qui a été évoquée pour certaines personnes. Cette question est en cours d'étude... Enfin, il ne faut pas méconnaître que ces mêmes symptômes peuvent avoir une cause "psychologique", c'est-à-dire être déclenchés, par exemple, par des peurs infondées et exagérées liées à la méconnaissance des phénomènes en cause.

Panneau de signalisation de champs électromagnétiques

Merci de toutes ces précisions. Il faut donc bien distinguer les effets biologiques des effets sanitaires, distinguer aussi entre la certitude qu'un effet est avéré, la certitude qu'il n'y a aucun effet, et les doutes quant à d'éventuels effets dans certaines conditions...

Absolument ! C'est essentiel pour pouvoir émettre des avis sérieux. Si nous ne nous appuyons pas sur des typologies scientifiques rigoureuses, la porte est ouverte à tout débordement... Permettez-moi de faire remarquer que, jusqu'à présent, tous ces "effets" font moins de victimes que les cancers de la peau provoqués par l'exposition exagérée de nos contemporains au soleil, et que les ondes radio électromagnétiques contribuent certainement à sauver des vies tous les jours, mais ce n'est pas le sujet...

Ce panorama laisse tout de même des zones d'incertitude. Comment les combler le plus efficacement ? Vous qui avez plusieurs décennies d'expérience, comment aimeriez-vous voir la recherche s'orienter aujourd'hui ?

Au-delà du cancer, il faudrait étudier davantage les effets sur le cerveau et le système neuro-endocrinien : c'est par là que nous pourrions mieux comprendre ce qui se passe. L'étude des effets sur les molécules chimiques utilisées par les cellules cérébrales, en particulier les neurotransmetteurs, semble être une voie de recherche intéressante...
En ce qui concerne l'immunité, beaucoup d'études ont montré que, sur des souris, l'effet d'une exposition est susceptible de déprimer le système immunitaire ou de le renforcer : tout dépend des paramètres d'exposition. Or, il y en a beaucoup : la fréquence, l'énergie, la puissance, la durée d'exposition, le

type de modulation, les conditions expérimentales (taille de l'animal, partie du corps exposée, effets d'absorption et de réflexion ou d'interférences, champ proche ou champ lointain, présence d'ondes stationnaires, conditions environnementales...), il semblerait donc souhaitable de chercher à connaître les paramètres pertinents !
Egalement, il est nécessaire de prendre le plus grand soin dans la détermination et l'exécution des protocoles ainsi que dans la mesure de l'énergie absorbée.
Enfin, il semblerait utile d'orienter à l'avenir les recherches en amont, parallèlement au développement de chaque technologie, par exemple actuellement vers les ondes millimétriques dont les applications émergent.

Avant de conclure, l'existence d'un "risque psychologique" a été évoquée. Qu'en est-il et comment le gérer ?

Pour vous expliquer ce qu'est un risque psychologique, je vais prendre un exemple. Dans l'armée de l'air ou les industries fabriquant des radars, une plainte revient régulièrement, surtout chez les hommes : la descendance féminine serait favorisée par rapport à la descendance masculine en cas d'exposition des géniteurs ! Nous avons étudié ce phénomène au Centre d'Etudes et de Recherches de Médecine Aéronautique. Les études menées sur des animaux n'ont montré aucune différence dans le sex-ratio de la descendance de souris et de rats, qu'ils aient été exposés ou non. Les études statistiques du sex-ratio dans les différentes bases radar n'ont montré aucune différence significative entre le nombre de naissances masculines ou féminines, par rapport aux autres bases. En réalité, les hommes se plaignaient lorsqu'il y avait excès de filles, mais aucune plainte n'accompagnait les excès de garçons ! Globalement, la répartition statistique des deux sexes était indépendante de l'exposition.
Pour enrayer les effets psychologiques, il faut réaliser des campagnes de communication pour former le personnel et informer le public. Pour ce qui est des professionnels, le plan qualité de TDF est assez exemplaire. En dehors de TDF, un certain nombre de médecins du travail a reçu une formation spécifique, avec des indications sur les méthodes diagnostiques et pronostiques particulières. De telles initiatives seraient à multiplier.

Finalement, peut-on parler de risques réels ?

Si vous parlez de risques sanitaires, jusqu'à présent, aucun n'a été démontré. En revanche, il est indiscutable qu'il existe des réactions physiologiques et des risques psychologiques. Pour faire face à tout cela, aucune méthode n'est meilleure que la méthode scientifique. Définir très précisément les choses, se faire une idée la plus lucide possible des dangers potentiels. Il faut aussi savoir que le problème évolue rapidement, donc : exercer une action de veille active. Enfin, dialoguer avec les gens, les écouter. Ce n'est pas parce que des bêtises sont trop souvent proférées qu'il ne faut pas prêter attention à ces signaux d'alarme psychologiques. Ne pas y prêter attention, ce serait conforter les erreurs correspondantes...

Banc de mesure de Débit d'Absorption Spécifique (DAS) pour les radiotéléphones.

Pocket Sécurité destiné aux salariés et sous-traitants intervenant sur les sites de TDF

Réglementer l'usage des ondes

De même que les règles de bonne manière préludant à la vie en commun dans un immeuble collectif peuvent faire l'objet d'accords tacites, tout en reposant sur un corpus de règlements et de lois, on dispose aujourd'hui pour les effets électromagnétiques, d'un ensemble de réglementations. Cela permet, non seulement d'organiser la "vie en commun", mais aussi de pouvoir assurer des contrôles (et d'établir des sanctions si nécessaire). La réglementation contribue à objectiver ce domaine complexe, en fixant des valeurs mesurables, en établissant les bases de consensus. Elle facilite la communication sur des sujets où sévit parfois la désinformation. Elle contribue enfin à harmoniser les implications socio-économiques des techniques concernées.

Les outils électroniques s'étant introduits de plus en plus massivement dans les activités humaines, professionnelles et publiques, il était devenu impératif de réglementer autant que possible les interactions électromagnétiques. Etablir le cadre de bon fonctionnement de chaque appareil, sans qu'il subisse d'effets dommageables de la part du champ ambiant, ni qu'il en génère excessivement lui-même, organiser la protection des personnes exposées, qu'il s'agisse des professionnels ou du grand public, tels sont les principaux objectifs des réglementations.

Au-delà des réglementions particulières qui se sont développées spontanément au niveau de municipalités ou d'entreprises, il s'est créé ces dernières années un ensemble de règles institutionnelles, offrant un premier cadre assez complet, bien qu'évolutif.

D'abord : une échelle de principes

Evaluer le risque ne suffit pas. Encore faut-il le gérer (prévenir, organiser, communiquer...) et aussi répondre aux interrogations croissantes des personnes concernées, alors que les connaissances scientifiques sont en constante évolution... La meilleure approche consistait à s'appuyer sur un certain nombre de principes de base, qu'il est bon de présenter tout d'abord, avant de décrire les modalités des réglementations elles-mêmes.

Le premier principe est évident, mais il mérite d'être rappelé : il faut s'appuyer sur des méthodes et pratiques scientifiques rigoureuses. Cela évite les glissades subjectives qui ne feraient qu'alimenter des peurs, doutes, angoisses non fondées et stériles.

En dehors de ce principe de base, trois autres principes sont aujourd'hui largement utilisés, et de façon assez diversifiée, selon les pays ou les domaines envisagés.

le principe de précaution :

Fondé sur les connaissances scientifiques actuelles, il consiste à ajuster les niveaux de protection adéquats. La Commission européenne l'a adopté en février 2000. Elle préconise ainsi des mesures devant être :

- ajustées en fonction du niveau choisi de protection,
- non discriminatoires dans leur application,
- conformes à des mesures semblables déjà prises,
- fondées sur une analyse économique des coûts et des avantages,
- réexaminables au vu de nouvelles données scientifiques.

Le principe de précaution a été repris par la majorité des pays européens, dont la France.

le principe de prudence :

Ce principe, au contraire, intervient en l'absence de toute attente scientifiquement justifiable. Il consiste notamment à réduire les niveaux d'exposition en deçà des seuils préconisés d'après nos connaissances scientifiques actuelles. C'est ce que fait la Belgique, avec des niveaux de seuils, par exemple, à 14 V/m. au lieu des 28 V/m. correspondant à la recommandation européenne pour la bande FM !...

le principe d'ALARA (As Low As Reasonably Achievable) :

Ce principe extrême consiste à minimiser les risques en maintenant l'exposition à son plus bas niveau raisonnablement réalisable. L'OMS

préconise une telle attitude pour les rayonnements ionisants, mais pas pour les champs électromagnétiques, qui présentent des niveaux d'exposition beaucoup plus faibles. Dans certains cas toutefois, et pour atténuer les appréhensions du public, les décideurs politiques adopteront des positions drastiques proches du principe d'ALARA. On en verra un exemple plus loin, concernant, en France, la protection sanitaire de certains sites dits "sensibles".

Ces principes fondamentaux ont inspiré la mise au point d'un ensemble (évolutif) de directives et recommandations internationales et nationales, concernant les équipements, les personnes (professionnels et grand public), ainsi que les sites et l'environnement.

Les principales réglementations en vigueur

Depuis un peu plus de dix ans s'est créée une dynamique visant à établir l'ensemble des recommandations, directives et règles actuellement disponibles. Plusieurs groupes d'experts se sont formés, relayés par des organisations scientifiques internationales, aboutissant à des réglementations, aujourd'hui institutionnalisées au niveau européen (et français), et qui s'appuient sur des normes publiées et contrôlables par des organismes habilités. Les éléments suivants résument les principales recommandations en vigueur aujourd'hui (car le sujet est évidemment très évolutif) tant au niveau du public et des professionnels, que des équipements.

Effets sur les équipements

D'une façon générale, un équipement immergé dans un environnement électromagnétique pourra être perturbé de deux façons :

- par saturation de ses sous-ensembles les plus sensibles,
- ou par combinaison entre les fréquences utilisées par l'équipement pour ses fonctions propres et les fréquences présentes dans l'environnement hertzien.

Les différentes sources proviennent des émissions radioélectriques (radio, TV, radiotéléphonie, …) et aussi des parasites produits par les appareils industriels ou domestiques situés à proximité. Afin de minimiser les gênes, la Directive 89/336/CEE dite "CEM" (transcrite en droit français par un décret du 26 juin 1992) définit les règles limitant ces parasites à "un niveau permettant aux appareils de radio et de télécommunication et aux autres appareils de fonctionner conformément à leur destination". Dans le même esprit, la Directive 1999/5/CE dite RTTE fixe les exigences essentielles en la matière pour les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunication.

Ces Directives définissent également le "niveau adéquat d'immunité intrinsèque contre les perturbations électromagnétiques permettant aux appareils de fonctionner conformément à leur destination".

Le couplage entre l'environnement extérieur et les équipements pourra s'effectuer par rayonnement direct ou, pour les fréquences les plus basses du spectre (jusqu'à quelques dizaines de Mégahertz) par propagation sur les différents câbles des appareils (secteur, téléphone…). Afin de pallier ces effets, les constructeurs intègrent les règles de CEM dès la conception des appareils, l'expérience montrant que la mise à niveau d'appareils mal conçus à l'origine est délicate et coûteuse. Cela se traduit dans la pratique par le choix de boîtiers métalliques assurant des blindages satisfaisants, la disposition appropriée des cartes électroniques, le filtrage des différents câbles d'alimentation ou d'interconnexion, etc.

Effets sur les êtres vivants

Les effets des ondes électromagnétiques sur les personnes mettent en jeu des phénomènes complexes, dépendant de nombreux paramètres physiques, physiologiques et expérimentaux

Les principaux organismes ou groupes d'experts

Au niveau international, il faut citer notamment (pour tout ce qui concerne la santé) :

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)
et La Commission Internationale pour la Protection des Rayonnements Non-Ionisants (ICNIRP).

ainsi que :
La Commission Electrotechnique Internationale (CEI), avec, en particulier :
le Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR)
et le Comité Technique 106 relatif à la mesures des champs électromagnétiques dans le cadre de l'exposition des personnes.

Au niveau européen, la Commission et le Conseil de l'Union européenne se sont appuyés notamment sur les travaux du Comité Européen de Normalisation pour l'Electrotechnique (CENELEC) et de l'Institut Européen de Normalisation des Télécommunications (ETSI). Il convient également de signaler qu'en application des Directives relatives à la CEM, ont été désignés des organismes choisis en particulier en raison de leur compétence technique en la matière. Leur liste est régulièrement mise à jour et publiée au Journal Officiel.

En France, les organismes de normalisation internationaux sont relayés en particulier par l'Union Technique de l'Electricité (UTE). L'Agence Nationale des Fréquences joue un rôle de contrôle par rapport aux réglementations.

Quelques exemples de configuration d'antennes

Configurer une antenne consiste souvent en un effort de double optimisation :
- diminuer le lobe arrière afin de protéger les personnels d'intervention et de maintenance,
- rendre l'antenne directive pour qu'elle pointe le plus possible en direction des récepteurs du service considéré.

L'utilisation de réflecteurs répond souvent au premier objectif, alors que des configurations plus complexes offrent une meilleure directivité.
En pratique, il est possible d'optimiser une configuration spécifique d'antennes (dans les limites des lois physiques) en fonction des exigences techniques et économiques.

Site TDF à Nancy

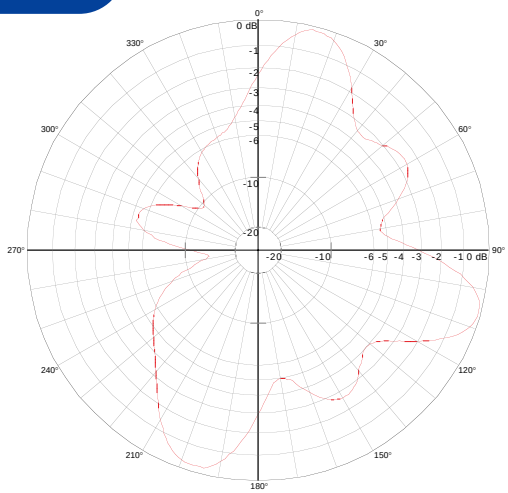


Diagramme de rayonnement horizontal calculé par le logiciel Projet 3D développé par TDF

(fréquence et intensité des champs, type de modulation, durée d'exposition, configuration d'interaction...). Néanmoins, de nombreuses études ont été faites sur le sujet, pilotées par l'OMS, l'ICNIRP, etc. En ce qui concerne les effets du téléphone mobile et de leurs stations de base, le rapport Zmirou - remis au Directeur général de la santé en janvier 2001 - dresse un panorama des différentes études médicales sur le sujet.
Plus récemment, l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques a formulé des recommandations afin de créer les conditions d'une réelle transparence sur le débat relatif aux effets de la téléphonie mobile sur la santé.

D'une façon générale, on distingue les effets thermiques qui ont servi de base à l'établissement des limites réglementaires (énoncées par l'ICNIRP puis reprises par les différentes instances internationales) et les effets athermiques, faisant l'objet de l'essentiel des recherches aujourd'hui.

Comme leur nom l'indique, les effets thermiques correspondent à une absorption de l'énergie par tout ou partie du corps humain et peuvent conduire dans des cas extrêmes à une surcharge des systèmes thermorégulateurs de l'organisme. Le paramètre essentiel actuellement utilisé pour limiter les taux d'exposition est la Densité d'Absorption Spécifique (DAS ou SAR –Specific Absorption Rate - en anglais), exprimé en W/kg. On s'accorde généralement sur un taux limite d'exposition du corps entier fixé à 4 W/kg pour les radiofréquences. Sachant les incertitudes de mesures et les disparités des effets suivant les populations, il a été convenu d'affecter à cette limite un coefficient de sécurité de 10 (pour les professionnels) ou de 50 (pour le grand public). Les valeurs qui en résultent constituent les "restrictions de base". Ces grandeurs étant difficilement mesurables sur le terrain, il leur a été substitué des seuils évalués en termes de champ électromagnétique (V/m ou A/m) qui constituent les "niveaux de référence". Ceux-ci sont dérivés des restrictions de base en considérant les conditions les plus défavorables (couplage maximum). Ces niveaux dépendent de la fréquence.

En ce qui concerne les effets non thermiques, les travaux disponibles à ce jour ne permettent pas de conclure avec certitude à des effets avérés sur la santé. Si diverses hypothèses ont été validées scientifiquement, d'autres résultats de la recherche sont encore controversés (voir interview du Professeur Miro). Les effets pouvant dépendre du type de personne exposée, on pourra faire intervenir les principes de précaution, de prudence ou d'ALARA selon le cas. Pour les porteurs de pacemakers, c'est le principe de précaution qui s'applique.
En ce qui concerne les professionnels, la réglementation est encore en cours d'instauration. Dans ce domaine, TDF s'est placée en avant-garde, mettant en œuvre un ensemble organisé de mesures pour prévenir et protéger ses personnels. Ces mesures seront détaillées plus loin.

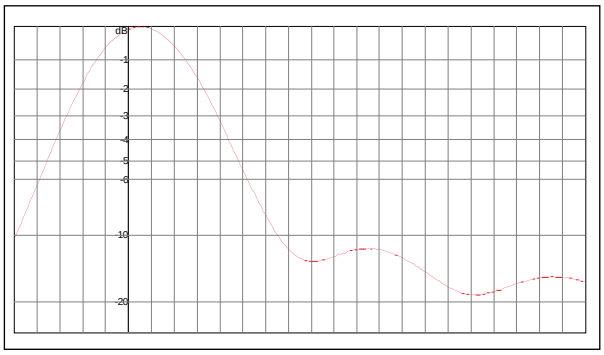
Des sites particulièrement étudiés

La réglementation actuellement en vigueur (décret du 3 mai 2002) permet d'assurer la protection des riverains des sites radioélectriques.
A ce sujet, même si la responsabilité de chaque opérateur reste entière, l'action du gestionnaire radioélectrique d'un site est particulièrement importante. Il connaît en effet les diverses installations des opérateurs et il peut estimer le cumul des champs produits.
L'estimation du degré d'exposition des personnes sur un site est une question, connue, mais complexe : cela dépend non seulement de la distance, mais aussi de la puissance nominale de chaque émetteur, de la hauteur des antennes dans le pylône et enfin, du diagramme de rayonnement des antennes. Il convient de rendre l'antenne la plus directive possible (dans les limites imposées par les caractéristiques du service) de façon à limiter :
- les champs de proximité au voisinage du sol (pour protéger les riverains),
- ainsi que ceux produits dans la structure du pylône (pour protéger les personnels de maintenance).

Et ce, sans aboutir à de trop grandes complexités techniques, ni à des coûts excessifs.

On constate la décroissance de la puissance rayonnée au sol lorsqu'on se rapproche du pylône (augmentation de l'angle de site).

Diagramme de rayonnement vertical calculé par le logiciel Projet 3D développé par TDF



TDF maîtrise cet art de l'ingénierie des antennes. La solution comprendra généralement une association d'antennes élémentaires développées sur plusieurs étages permettant de pincer le diagramme de rayonnement dans le plan vertical, et de limiter ainsi les champs dans l'environnement proche du site.

Grâce à ce savoir-faire, les champs émis dans l'environnement résidentiel proche des sites FM ou TV de TDF n'excèdent généralement pas le dixième des limites réglementaires et ce, malgré d'importantes puissances d'émission. Il est ainsi possible de concilier la qualité du service rendu et la protection des riverains des sites.

Notons que, là encore, des mesures de protection très sévères sont parfois imposées, sans qu'il y ait de réelles alertes objectivement prouvées. En ce qui concerne les sites dits "sensibles", c'est le principe d'ALARA qui a été retenu dans le décret du 3 mai 2002. Son article 5 mentionne en effet qu'il convient de s'assurer qu'au sein des "établissements scolaires, crèches ou établissements de soins situés dans un rayon de cent mètres de l'installation, l'exposition du public au champ électromagnétique soit aussi faible que possible tout en préservant la qualité du service rendu".
Cependant, le risque médical n'était pas clairement souligné dans le rapport Zmirou, qui préconisait seulement que ces sites "ne soient pas atteints directement par le faisceau de l'antenne".

Les règles d'urbanisme et d'insertion dans le paysage

Aujourd'hui, l'implantation des sites de radiocommunication s'inscrit de plus en plus dans une politique générale de l'urbanisme et de la gestion des paysages. A ce sujet, le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a récemment publié un guide méthodologique, exposant l'insertion de sites aux différents documents d'urbanisme, aux servitudes d'utilité publique et autres régimes de protection du patrimoine et de valorisation du paysage.
Bien que certaines contraintes puissent s'avérer contradictoires – comme le nécessaire balisage "voyant" des pylônes pour cause de sécurité aérienne (TDF souscrit à cette exigence).
Dans la pratique, les règles d'urbanisme s'appliquent de plus en plus à une majorité de sites. Des efforts particuliers ont été effectués pour des cas spécifiques où l'antenne devait s'intégrer dans un bâtiment classé. En allant plus loin, plusieurs prototypes d'antennes ont été spécialement développés dans l'optique d'en faire des objets exemplaires d'une intégration harmonieuse dans le paysage. C'est le cas, en particulier, d'antennes en forme d'arbre, mises au point par la filiale Axion de TDF en Espagne.

Conclusion

La prise en compte des aspects liés à l'environnement électromagnétique revêt un caractère essentiel tant pour préserver le bon fonctionnement des différents appareils électroniques que pour limiter l'exposition des personnes au champ électromagnétique.

Antennes FM

L'intensité du rayonnement produit à partir de ces antennes dépend de la source qui les alimente et du type d'antenne.

▲ **Dipôle simple**
Ce type d'antenne est peu directif et présente un lobe arrière important.

▲ **Dipôle devant réflecteur**
La directivité est proche d'un dipôle simple, mais avec une meilleure protection arrière.

▲ **Panneau double dipôle**
Présente la meilleure protection arrière, grâce à sa grande directivité.

Antenne TV

Les sources alimentant ces antennes sont souvent de forte puissance et à des hauteurs élevées ; les rayonnements vers la structure du pylône porteur sont généralement limités.
Les diagrammes de rayonnement verticaux et horizontaux sont assez semblables, permettant d'offrir une bonne protection verticale.

Panneau de dipôles horizontaux
Ensemble directif, avec lobe arrière très réduit. ▼

Concernant les effets de l'exposition aux champs électromagnétiques sur la santé, TDF se réfère aux conclusions de l'OMS et aux textes et valeurs limites qui en découlent. Le cas échéant, l'entreprise s'adresse à des experts médicaux pour toute information actualisée ou spécifique. Vis-à-vis de son personnel, une surveillance accrue et une veille sanitaire sont assurées par la Médecine du travail.

Sur un plan technique, TDF dispose d'une bonne maîtrise des phénomènes physiques liés au champ électromagnétique. Ce savoir-faire s'avère fort utile, aussi bien pour prévenir ou limiter les effets néfastes éventuels que pour déployer des méthodes et moyens de contrôle ou de mesure.

▲ Antennes ondes courtes à Issoudun

Comment limiter les champs

Les sites de diffusion de TDF sont extrêmement diversifiés, la puissance nominale des émetteurs étant comprise entre quelques watts et quelques dizaines de kilowatts (voire plus de un mégawatt en Grandes Ondes).
Afin de prendre en compte les champs électromagnétiques, un effort tout particulier a été mené sur l'ingénierie des antennes.
Pour les puissances les plus élevées, les systèmes d'antennes sont en général placés à des hauteurs relativement importantes (de 100 à 300 mètres) et leur complexité est telle que leur développement (hauteur) s'étend sur plus de 10 mètres de haut (alors qu'en FM par exemple, une antenne élémentaire de 1,5 mètre d'envergure suffirait) : cela permet de réduire les champs à proximité à des valeurs aussi faibles que possible.
Ces efforts d'ingénierie permettent de limiter les champs vers le sol à des niveaux n'excédant généralement pas 10 % des limites admises.

Les principales réglementations en vigueur

CEM des équipements

Directive du Conseil des Communautés européennes CEE/89/336 du 3 mai 1989
concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatif à la compatibilité électromagnétique

Cette Directive fixe les exigences essentielles en matière de CEM ainsi que les modalités de contrôle. Son application repose essentiellement sur un ensemble de normes européennes dont les références sont publiées au Journal officiel des communautés européennes.

Directive RTTE (1999/5/CE)
Directive du Parlement européen et du Conseil concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunication

Fixant les exigences essentielles en matière de compatibilité électromagnétique et de santé, cette Directive du Parlement et du Conseil de l'union européenne s'applique à l'introduction sur le marché et à la mise en service des équipements hertziens et des terminaux de télécommunication.
Elle repose sur un ensemble de normes européennes dont les références sont publiées au Journal officiel des communautés européennes (dernière mise à jour le 9 mars 2002).

Protection des personnes

Recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'Union européenne relative à l'exposition du public au champ électromagnétique

Cette Recommandation européenne, publiée le 12 juillet 1999, s'inspire du texte de l'ICNIRP pour le volet "grand public" et invite les Etats membres à adopter des dispositions en la matière.

Recommandation ICNIRP (avril 1998) validée par l'OMS (1999)

La recommandation de l'ICNIRP a été validée par l'OMS en 1999. Le texte de référence (publié en avril 1998 dans la revue Health Physics) est intitulé «guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields». Il concerne les effets identifiés de l'exposition à court et à long termes, pour le public et pour les professionnels. Les valeurs d'exposition limites proposées intègrent des facteurs de réduction, pour tenir compte des incertitudes subsistantes, en particulier pour les effets non thermiques.

Projet de directive européenne "agents physiques"

Ce projet de directive est en cours d'examen au sein de l'Union européenne par le Conseil emploi et politique sociale et par le Parlement européen. Le Conseil a déjà adopté deux propositions de directive concernant les vibrations mécaniques et le bruit. Le volet concernant les champs électromagnétiques est actuellement en cours d'examen. En attente de texte applicable, TDF a inscrit dans ses procédures Qualité des prescriptions internes sur ce sujet.

- Décret 92-587 du 26 juin 1992 modifié
- Arrêté du 15 septembre 1992

Les appareils concernés doivent être construits afin :
- que les perturbations engendrées soient limitées à un niveau permettant, en particulier aux appareils de radio et de télécommunication de fonctionner correctement,
- qu'ils présentent un niveau adéquat d'immunité contre les perturbations électromagnétiques.

Ordonnance du 25 juillet 2001
relative aux limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques

Promulguée par le Président de la République, l'ordonnance du 25 juillet 2001 transpose la directive RTTE en rappelant les exigences essentielles en matière de santé. Le rapport de présentation du Premier ministre précise que la directive doit être transposée à la lumière de la recommandation du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999, avec pour conséquence une modification du cahier des charges des opérateurs de téléphonie mobile.

Décret du 3 mai 2002

Ce décret s'applique à tout exploitant de réseau de télécommunications (y compris les émetteurs de radiodiffusion). Il définit les limites des champs électromagnétiques pour le public, ajoutant notamment des contraintes pour les installations situées à proximité d'établissements sensibles (établissements scolaires, établissements de soins, etc…). Il stipule également que les équipements déjà en service disposent d'un délai de six mois pour se mettre en conformité.

Circulaire du 16 octobre 2001
relative à l'implantation des antennes de radiotéléphonie mobile.
et Arrêté du 14 novembre 2001
modifiant le cahier des charges des stations de base de radiotéléphonie mobile.

La circulaire interministérielle, adressée aux préfets, rappelle les exigences applicables aux opérateurs de radiotéléphonie mobile en matière de santé et d'environnement. En ce qui concerne les effets sanitaires, elle précise que les limites d'exposition seront vérifiées par l'Agence Nationale des Fréquences dans le cadre des procédures d'autorisation des installations. L'arrêté du secrétaire d'Etat à l'industrie modifie le cahier des charges des stations de base de radiotéléphonie mobile pour tenir compte de la recommandation européenne du 12 juillet 1999.

Norme UTE C18-610 «Exposition humaine aux champs électromagnétiques hautes fréquences»
Norme UTE C99-111 «Exposition des personnes aux champs électromagnétiques en milieu professionnel»

Comment alléger les procédures : l'exemple de l'attestation de conformité

Depuis avril 2000, la Directive RTTE s'applique à tous les équipements de radiocommunication et de télécommunications en Europe.
Auparavant, le marquage CE (qui estampille un objet fabriqué pour sa mise sur le marché et sa libre circulation en Europe et hors frontières) faisait l'objet d'une procédure lourde et contraignante : les fabricants d'émetteurs étaient obligés de passer par un organisme notifié, qui fournissait la précieuse attestation, suite à l'étude d'un rapport d'essais établi par un laboratoire compétent.
Désormais, c'est le fabricant lui-même qui atteste la conformité de son produit (à charge, pour lui, de fournir en cas de contrôle, un rapport d'essai convaincant).
Cette nouvelle approche est beaucoup plus souple, favorisant ainsi la réduction des délais de mise sur le marché.
Si le produit correspond à une norme existante, le fabricant pourra faire lui-même les tests nécessaires en respectant les procédures normalisées. Il pourra aussi les faire effectuer par un laboratoire extérieur. Il ne devra passer par un organisme notifié que dans le seul cas où il n'existe pas de norme applicable au produit. Cet organisme précisera alors les mesures à prendre.
Dans la pratique, beaucoup de fabricants préfèrent utiliser les compétences d'un laboratoire accrédité (comme celui de TDF-C2R), ce qui leur procure un soutien évident, dans un domaine de compétence qui n'est pas toujours le leur. En effet, le marquage en question recouvre notamment :
- la protection de la santé et la sécurité des utilisateurs et des autres personnes, en partie basée sur les exigences de protection de la directive basse tension 73/23/CEE,
- les exigences essentielles de compatibilité électromagnétique basées sur la directive CEM 89/336/CEE,
- la bonne utilisation du spectre.

Maîtrise et savoir-faire

Aux avant-postes des novations techniques, TDF a mis en place un dispositif complet de règles d'ingénierie pour répondre aux défis posés par la maîtrise d'un environnement électromagnétique satisfaisant.

Les exigences relatives à l'environnement électromagnétique font l'objet de réglementations à suivre avec la plus grande rigueur. Elles imposent des règles d'ingénierie en matière de conception de sites, de contrôle des équipements, de protection et de prévention.

Au-delà du seul respect des normes, TDF a développé tout un savoir-faire pour spécifier, mesurer et contrôler l'environnement radioélectrique de ses sites de radiodiffusion.

▲ Site TDF de Parthenay

L'objectif premier consiste à limiter les perturbations, tout en maintenant l'immunité des équipements à des niveaux "leur permettant de fonctionner conformément à leur destination". Il s'agit aussi de prévenir tout effet sur la santé et de protéger efficacement les personnes, dans le cadre d'une stratégie fondée sur les réglementations.

De la mise en place d'un site à la réception des signaux, en passant par l'instauration et la planification de services opérationnels, voici un résumé du savoir-faire de TDF pour la maîtrise de l'environnement radioélectrique.

Concevoir un site et protéger les services

L'instauration de tout service radioélectrique doit résulter d'autorisations délivrées par le CSA ou l'ART, qui fixent les conditions d'exploitation et les contraintes minimales d'environnement électromagnétique, en conformité avec les textes réglementaires des organismes internationaux (UIT, CEPT). Puissances d'émission, positionnement du site, risques de brouillage sont ainsi soumis à un premier cadre de référence. Voici ensuite comment se déclinent les actions à mener pour obtenir une véritable maîtrise du site.

Protéger les équipements du site

Divers "stress" de nature électromagnétique peuvent en effet dégrader le bon fonctionnement des équipements sur un site...

- Le réseau d'énergie constitue une première préoccupation : ce sont des fluctuations de niveau d'alimentation dans le cas de lignes aériennes de grande étendue, des coupures brèves causées par des commutateurs, des creux de tension provoqués par divers changements de régimes (émetteurs de puissance, groupes électrogènes...). Pour pallier ces inconvénients, des alimentations stabilisées sont parfois nécessaires, en plus des protections pouvant exister sur les équipements.
- La foudre peut sévir, tout particulièrement sur des pylônes élevés ou par le biais de lignes de communication ou d'énergie. Tous les systèmes exposés (pylônes, émetteurs, antennes) doivent être rigoureusement placés au même potentiel électrique. De plus, sur les sites importants, il faut aussi pouvoir se connecter à un groupe électrogène pour éviter les chocs de foudre.
- Les alimentations des émetteurs eux-mêmes génèrent des courants harmoniques, à des fréquences multiples de 50 Hz, ce qui peut provoquer des disjonctions. Le cumul de ces perturbations, couplées sur plusieurs émetteurs, peut contribuer à déformer les signaux. Il faut donc intégrer aux émetteurs des systèmes de filtrage et de correction de facteur de forme.
- Plus généralement, les champs électromagnétiques ambiants (de toute nature) exigeront des blindages et des prises de terre efficaces.

Enfin, les sites regroupant souvent une forte concentration de matériels, il est indispensable de considérer l'ensemble des protections dans le cadre d'une approche "système". Cette approche convient d'autant plus aux sites multiservices, où cohabitent beaucoup de matériels hétérogènes.

Protéger les services radioélectriques

Le développement des radios locales, le déploiment de chaînes de télévision, l'arrivée de la téléphonie mobile, le développement des techniques numériques, l'instauration de services de communication, tous ces phénomènes ont contribué à augmenter les demandes de coloca-

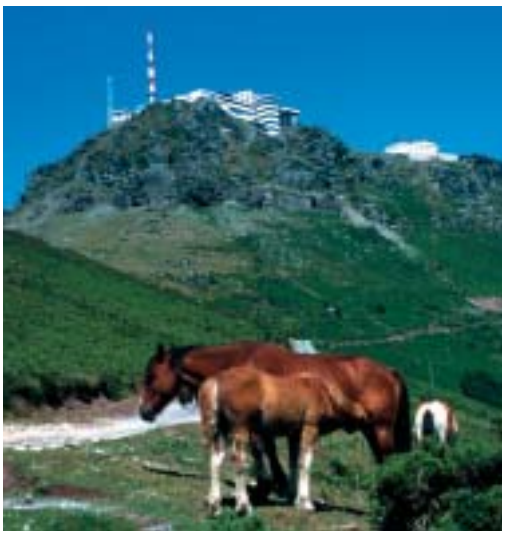
Analyseur de spectre

lisation sur un même site. Il en résulte autant de nouvelles possibilités de brouillages... générant autant de parades techniques...

D'abord, avant d'introduire tout nouveau service, il peut s'avérer utile d'effectuer une étude attentive de la compatibilité électromagnétique.

En effet, les émetteurs en service peuvent rayonner "hors-bande" au voisinage du canal fréquentiel utile, voire émettre des rayonnements dits "non essentiels" et plus éloignés en fréquence. Ces émissions seront limitées par des techniques de filtrage, de démultiplexage ou de découplage entre antennes.

Toutefois, de telles perturbations peuvent agir sur les étages d'entrée des récepteurs, produisant des intermodulations, voire des blocages par saturation ou, tout simplement, être reçues directement dans le canal utile (et provoquer des brouillages "co-canal" ou "canal adjacent").



Site TDF de Bayonne La Rhune

Enfin, des couplages peuvent survenir au niveau des antennes, voire des pylônes eux-mêmes par l'intermédiaire de structures métalliques corrodées formant des jonctions. Les éléments oxydés se comportent comme des semi-conducteurs favorisant le mélange des signaux radioélectriques émis sur le site, pouvant ainsi engendrer des parasites radioélectriques. C'est pourquoi TDF prête la plus grande attention au découplage des antennes par rapport aux structures, ainsi qu'à la maintenance des sites.

Maintenir l'environnement du site

C'est en permanence qu'il faut assurer la maîtrise des interactions gênantes. La maintenance d'un site est une opération complexe : elle doit être organisée globalement, en intégrant diverses interventions, classiques ou spécialisées : au niveau des équipements, des services et aussi de la structure du site.

C'est ainsi qu'un phénomène d'intermodulation dite "passive" peut apparaître sur les structures même des pylônes, au niveau des jonctions entre métaux corrodés évoquées plus haut. De plus, l'environnement climatique peut contribuer à de telles évolutions. La foudre peut détériorer divers équipements, le vent, desserrer des fixations et provoquer des faux contacts, l'air marin peut se révéler corrosif et attaquer le métal, accélérant ainsi les processus nuisibles...

Pour éviter tout cela, il faut effectuer des actions de maintenance systématique des éléments métalliques, et aussi contrôler régulièrement les découplages ainsi que les réseaux de mise à la terre.

Ainsi, on conçoit combien il est important de bien comprendre les mécanismes environnementaux pour maintenir un site.

Protéger et contrôler les équipements

Il s'agit essentiellement des récepteurs utilisés comme moyens de contrôle ou de rediffusion.

Ces matériels sont de plusieurs sortes : récepteurs de télévision, démodulateurs satellite ou de réseau câblé, postes radio classiques ou numériques DAB.

C'est d'abord par l'antenne et les circuits amont que peuvent passer les parasites.

Citons quelques cas pratiques : ce sont des traits blancs sur image provoqués par le passage d'un cyclomoteur à proximité, un signal de cibiste capté dans la bande 26-30 MHz, etc. Le premier cas résulte souvent de normes non respectées ; dans le second cas, il peut s'agir de puissances ou de distances d'installation qui ne sont pas conformes aux réglementations... Cependant, il faudra toujours s'assurer de la bonne installation de l'antenne. De plus, le récepteur devra aussi être protégé des rayonnements ambiants (provenant par exemple d'émetteurs GSM) et des autres périphériques proches : magnétoscope, lecteur DVD, chaîne HiFi. Enfin, il ne devra pas lui-même perturber les équipements voisins.

Site TDF de Charleville Mézières

L'ingénierie des antennes

A proximité des sites d'émission, l'importance des champs dépend essentiellement de la puissance émise et du diagramme de rayonnement de l'antenne dans le plan vertical. A puissance égale, les champs à proximité seront en général d'autant plus faibles que l'antenne sera placée haut dans le pylône. De plus, la place disponible en haut d'un pylône autorisera des configurations d'antennes plus importantes, donc des diagrammes plus directifs.
Les techniciens de TDF sont passés maîtres dans l'art d'optimiser ces installations pour réduire le plus possible les champs parasites.
Afin de s'assurer du respect des limites de champ dans l'environnement des sites, des simulations sont effectuées à partir de modèles mathématiques. Ces simulations sont réalisées lors des études de faisabilité des sites et elles conditionnent la faisabilité des services installés sur un site.

▲ Site TDF à Lille

▲ Mire de barres de couleur avec zone défilante pour la télévision numérique

Les procédures de test des récepteurs doivent être complètes. Il faut contrôler l'image et le son, ainsi que les fonctions liées aux données et à l'interactivité. De plus, les tests doivent dépendre du lieu d'utilisation du récepteur, l'ambiance électromagnétique étant évidemment différente en milieu résidentiel, sur site de diffusion ou en tête de réseau câblé.
Pour vérifier la conformité d'un récepteur, la méthode consiste à appliquer à tous ses accès (boîtier, connecteur d'antenne, prise secteur, fiche péritel, connecteur audio...) l'ensemble de toutes les perturbations possibles.
Enfin, les tests doivent se passer dans les conditions les plus proches des fonctionnements effectifs.
A noter que les défauts mesurés sont différents selon le type de modulation - numérique ou analogique. Par conséquent, la célèbre mire de barre couleur, utilisée pour la télévision analogique, se révèle insuffisante pour la télévision numérique, puisqu'il faut aussi tester le mouvement codé. Une nouvelle mire comportant des éléments mobiles a été proposée par TDF et un groupe d'industriels pour servir de norme au niveau international.
L'image pourra se trouver dégradée par divers effets (moirés, lignes parasites, "neige", macro-blocs, gels d'image, extinctions temporaires...) et il est bon de faire une double estimation :
- par observation visuelle directe, effectuée par un expert,
- par des moyens de mesure "objective", à l'aide de méthodes plus ou moins automatiques, encore en cours de normalisation.

Le son, quant à lui, sera qualifié par un rapport signal/bruit ainsi que par la mesure de micro-coupures à l'oscilloscope.

Protéger les personnes

Les recommandations internationales actuelles définissent des limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques. Cependant, sans attendre les normalisations, TDF a mis en place les procédures adéquates, afin de protéger efficacement, à la fois le grand public et ses personnels.

Protéger les personnels dans les sites

Pour cela, TDF a mis en œuvre un plan de prévention complet, qui a résulté de travaux approfondis, de mesures sur le terrain et d'études de modélisation des champs.

Ce plan se décline selon quatre axes principaux :

Le premier est la formation. Objectif : sensibiliser et former l'ensemble des personnels et plus particulièrement les agents opérant dans les centres émetteurs ou en environnement proche de sources d'émission - les techniciens de maintenance sont principalement concernés, mais aussi les personnels administratifs dont les bureaux sont situés parfois sur un site d'émission.
La formation globale présente les aspects physiques, biologiques et médicaux des champs électromagnétiques, ainsi que la réglementation et les particularités de TDF. Pour les personnes plus directement exposées, des modules spécifiques sont donnés sur site :

- méthodes d'évaluation des niveaux d'exposition,
- utilisation des équipements de protection,
- critères de classification des zones d'exposition,
- modes opératoires.

Le second axe a consisté à établir une cartographie des sites, puis à délimiter des zones par un balisage précis. Trois catégories de zones ont ainsi été définies, selon le niveau de champ, et conformément à un ensemble d'analyses théoriques ou de mesures spécifiques réalisées avec des équipements ou logiciels validés sur le terrain.
De plus, un certain nombre de sites fait l'objet d'une attention particulière (sites équipés d'antennes FM sans réflecteurs, d'antennes tourniquet ou de panneaux à fentes à rayonnements arrières significatifs).

Le troisième axe a consisté à réglementer les zones accessibles aux travailleurs selon les niveaux de champs :
- zones où le champ est inférieur au niveau de référence spécifié d'après la réglementation : accès libre,
- zone où le champ est supérieur à la limite précédente mais inférieur à trois fois la limite (200V/m en FM) : travail interdit sans protection ou mesures spécifiques pour ramener l'ex-

position en dessous de la limite,
- zone où le champ est supérieur à trois fois la limite : travail interdit, éventuellement même avec des mesures spécifiques.

Le quatrième axe enfin concerne l'ingénierie préventive. C'est l'ensemble des techniques permettant d'éviter la création de situations limites. Parmi elles, les techniques de simulation jouent un rôle important. Dans la pratique, on évitera les antennes à rayonnement arrière important et on privilégiera celles qui ont un bon rapport avant/arrière : dipôles avec réflecteurs et pour certaines applications, antennes paraboliques.

Dans tous ces domaines, TDF met évidemment sa compétence au service de son personnel.

Protéger le public

Il s'agit de protéger toute personne pouvant séjourner autour des sites de TDF. Les seuils d'exposition (précisés dans le décret du 3 mai 2002) sont rigoureusement appliqués par l'entreprise. De plus, son savoir-faire en ingénierie des sites et des antennes constitue un atout majeur pour répondre efficacement aux questions posées par la prévention et la protection du public.

En pratique, les niveaux sont notablement inférieurs aux limites réglementaires. La campagne de mesures réalisée en 2001 par l'Agence Nationale des Fréquences montre que sur un échantillon de 112 sites représentatifs, les champs de proximité n'excèdent pas une moyenne de 8 % des limites pour les émissions FM, moyenne tombant à 2 % pour les émissions TV et moins de 1 % pour le téléphone mobile.

Protéger l'environnement urbain ou rural

Au moment où la libéralisation des télécommunications multiplie le nombre d'offres techniques, la préservation de l'environnement est devenue une préoccupation majeure du public et des pouvoirs publics.

Au-delà du respect classique des documents d'urbanisme et des règles de protection du territoire et du patrimoine, divers textes concernent particulièrement les télécommunications. Citons notamment la loi du 26 juillet 1996 et la "charte nationale de recommandations environnementales" du 12 juillet 1999, applicable aux opérateurs de téléphonie mobile.

En particulier, la qualité esthétique des lieux constitue un paramètre qu'il faut prendre en compte, au même titre que les obligations techniques et réglementaires.

Il existe des solutions techniques pour que les sites de radiocommunication puissent se fondre harmonieusement dans le paysage. Pour éviter la multiplication des supports, on peut camoufler les antennes dans d'autres structures techniques (mâts d'éclairage, panneaux de signalisation...), ou dans divers autres éléments (tours, clochers, promontoires naturels...).

Une autre approche consiste - au contraire - à considérer l'antenne comme un élément actif de la constitution du paysage...

Le métier de gestionnaire de sites radioélectriques évolue

On le voit, depuis l'époque où il s'agissait seulement de garantir le bon fonctionnement de diffusions techniques plus ou moins figées, la gestion des sites de radiocommunication a considérablement évolué. Les services se sont élargis, la demande est devenue plus évolutive et surtout, d'autres contraintes sont devenues de plus en plus prégnantes : respect de l'environnement, prévention et protection, sécurité des personnes et des matériels, maintien d'un bon niveau de compatibilité entre équipements... Tout cela fait désormais partie des obligations requises. Les règles d'ingénierie du gestionnaire de sites radioélectriques se sont donc considérablement étendues pour intégrer la prise en compte efficace de l'environnement électromagnétique. Cela différencie nettement le gestionnaire de sites d'un bailleur traditionnel. Plus complexe et plus riche, la gestion des sites radioélectriques a posé de multiples défis à l'entreprise, contribuant ainsi à en renforcer la capacité et le niveau d'expertise.

Il est clair que le travail à côté d'antennes de très forte puissance ne peut se faire sans protection. C'est pourquoi l'entreprise a équipé certains de ses agents en vêtements spéciaux de protection.
Ils sont faits d'une combinaison en fibre textile, comportant un fin maillage d'acier sous une combinaison classique de travail évitant d'éventuelles déchirures.

▲ Port de vêtements de protection obligatoire

Les interactions des ondes : une approche scientifique

Afin notamment de vérifier la conformité des installations de radiocommunication et des téléphones mobiles et pour évaluer les distances de sécurité, France Télécom a, depuis plus de cinq ans, constitué un laboratoire de recherche spécifique au sein de son Centre de R&D. Ce laboratoire, spécialisé en dosimétrie, comprend les meilleurs spécialistes du sujet et travaille en coopération avec des médecins et chercheurs en biologie. Il a mis au point des modèles numériques ainsi que des bancs de mesures pour évaluer les champs absorbés dans les tissus et les champs présents dans l'environnement. Il a également étudié les interactions des ondes avec des équipements médicaux (tels que les stimulateurs cardiaques). Il apporte aussi son expertise en dosimétrie à plusieurs équipes de recherche biomédicale pour la mise au point d'expériences in vitro ou in vivo. Enfin, il a élaboré le logiciel 3D «EMF Visual» permettant de simuler les champs rayonnés et de représenter ceux-ci dans l'environnement d'implantation des antennes.

Les antennes "paysagères" : Une innovation astucieuse, pour agir sur l'environnement…

C'est le cas de cette antenne en forme d'arbre ! Développée et mise en service par Axion, la filiale espagnole de TDF, en coopération avec plusieurs sociétés industrielles, cette innovation préfigure une approche totalement nouvelle de la protection "active" de l'environnement. Sa structure est réalisée en combinant des matériaux constitués de plastiques et de fibres de verre extensibles. Ces matériaux sont parfaitement transparents aux fréquences radioélectriques, tout en protégeant les équipements des ultra-violets et autres agents atmosphériques ambiants. Ils sont agencés autour d'un fût en acier. Tous les câbles de service sont camouflés. L'ensemble peut se déployer de façon modulaire sur des hauteurs allant de 5 à 30 mètres. L'installation est particulièrement aisée, puisqu'elle consiste seulement à assembler des éléments polygonaux préfabriqués.
Evidemment, les antennes sont cachées dans le feuillage...

Les outils de conception radioélectrique

La conception de services radioélectriques, afin de répondre au cahier des charges des clients, n'est pas une chose aisée en soi. A cela s'ajoute un certain nombre de contraintes supplémentaires au travers des risques de brouillages des services radioélectriques voisins et de la limitation de l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.

La spécificité de ces savoir-faire et la quasi absence d'outils adaptés sur le marché ont amené TDF à développer progressivement des moyens et des outils spécifiques. Les trois principaux domaines concernés sont :

- la conception d'antennes pour un service donné : Il s'agit de l'étude des caractéristiques d'une antenne afin qu'elles répondent au besoin du client, principalement en puissance apparente rayonnée, tout en maîtrisant les champs secondaires émis vers le sol et les autres services. A TDF, cela est effectué en deux temps : mesures sur la base de mesure d'antennes de Liffré et analyses théoriques avec le **logiciel de conception spécialisé, Projet 3D**,

- L'installation d'antennes dans un site comprenant d'autres services radioélectriques : Il s'agit cette fois d'éviter les brouillages en réussissant le positionnement de l'antenne sur un pylône en présence des champs émis par les autres services, et cela, sans les perturber. Des solutions existent par filtrage et découplage mais la complexité croit exponentiellement avec le nombre de services. L'optimisation des découplages est analysée avec **le logiciel d'aide à l'implantation Lorraine**,

- La propagation et la représentation cartographique des champs radioélectriques : l'ingénierie radioélectrique du site n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins des clients. Il est d'une part nécessaire de prendre en compte la propagation radioélectrique dans le choix du site et cela même avant la conception de l'antenne et, d'autre part, de représenter fidèlement la zone de service de l'émetteur. Pour cela, TDF a développé **l'outil de propagation et de cartographie Ivoire**.

PROJET 3D

Seul logiciel existant dans sa catégorie, Projet 3D permet de calculer les diagrammes de rayonnement de groupement d'antennes en 3 dimensions. Il offre notamment les fonctionnalités suivantes :

- Calcul des diagrammes horizontaux et verticaux : grâce à une analyse vectorielle des signaux émis au niveau des différents composants de l'aérien ; il lui est possible de calculer la puissance rayonnée par l'antenne dans toutes les directions et en particulier vers le sol.
- Calcul des champs au sol à proximité des pylônes : à la fonctionnalité de calcul du champ a été ajoutée la possibilité de prendre en compte l'inclinaison du sol au proche du pylône.
- Prise en compte d'antennes multi-fréquences : en audiovisuel, les services sont multiplexés sur les mêmes antennes, c'est-à-dire par exemple qu'une seule antenne diffuse différents programmes de TV. Or, le comportement d'une antenne est loin d'être constant avec la fréquence et l'on peut passer d'un diagramme omnidirectionnel à un diagramme en "marguerite" en changeant de fréquence sur une même antenne. Projet 3D permet de prendre en compte le comportement de l'antenne en fonction de la fréquence et donc d'obtenir des diagrammes les plus homogènes possibles.
- Intégration de la norme DVB-T de télévision numérique terrestre : le changement de modulation pour diffuser la télévision permettra d'utiliser de nouvelles architectures d'antennes, en particulier en jouant sur les propriétés de l'OFDM.

Projet 3D comporte aussi divers outils interactifs pour simuler et optimiser les résultats :

- assistant à la conception de structures,
- création de gabarits,
- élaboration de zones de couverture plus homogènes par comblement de zéros dans le diagramme vertical,
- édition multilingue (il est déployé en six langues dans les filiales de TDF),
- exportation des résultats vers d'autres logiciels.

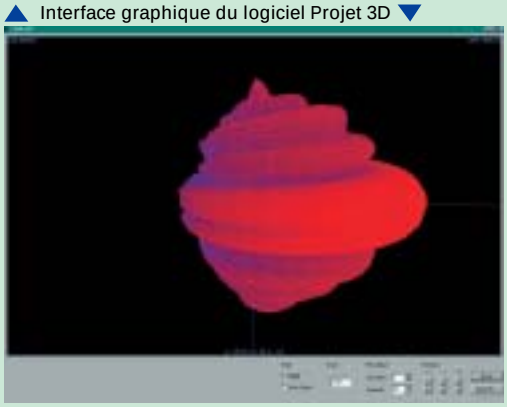
Fruit de l'expérience de TDF, ce logiciel est actuellement déployé, au stade de sa cinquième version. Mais pour obtenir une telle souplesse et rapidité de calcul, PROJET 3D s'appuie sur une base de données d'antennes réelles comprenant 150 types d'antennes.

Hélicoptère en configuration de mesure

Cette base est développée et maintenue au Centre de Mesure d'Antennes dont la vocation est de spécifier les méthodes sur les antennes et d'en mesurer les différents types utilisés à TDF. L'expérience acquise couvre toute la gamme de fréquence de la radiodiffusion : des grandes ondes à 162 kHz (diffusion de France Inter) aux faisceaux audiovisuels à plus de 10 GHz. Elle couvre aussi bien les antennes d'émission que de réception.

Interface graphique du logiciel Projet 3D

Base de mesure de Liffré - Chambre anéchoïque pour la mesure des antennes



évaluation du champ au sol à partir de l'évaluation du diagramme vertical

Base de mesure de Liffré - Mesure d'antennes sous radôme en forme de clocher

positionnement d'un aérien dans la structure du pylône

Base de mesure de Liffré - Banc de mesure des antennes installées sur véhicule

La mesure des antennes après installation : le banc de mesure héliporté.

Il ne suffit pas de spécifier et d'installer une antenne pour savoir si elle est conforme au projet initial. En effet, le domaine radioélectrique est sensible aux écarts mécaniques d'installation et à la présence de la structure métallique du pylône.

Le savoir-faire de TDF et l'usage de Projet 3D permettent de prévoir le résultat avec peu de mesures complémentaires. Cependant, certaines difficultés d'installation peuvent engendrer des modifications de diagrammes de rayonnement avec un impact direct sur la zone de couverture. Ces variations peuvent être détectées par des mesures de champ. C'est pourquoi TDF a développé un savoir-faire de mesure en hélicoptère.

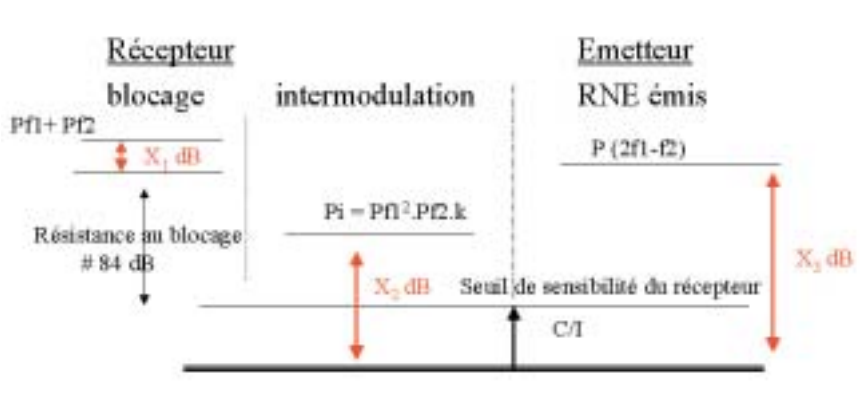
LORRAINE

En passant par LORRAINE (Logiciel d'Optimisation RadioélectRique et d'Assistance à l'INgénierie des sitEs)...
... bien des brouillages peuvent être évités !

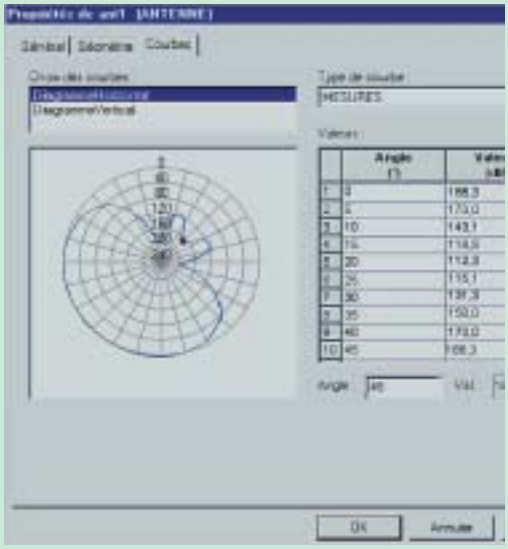
Car LORRAINE est un logiciel d'analyse des risques de brouillage entre services partageant un même site, ce qui correspond à un enjeu très important aujourd'hui. Grâce à des simulations validées théoriquement et sur le terrain, LORRAINE permet de détecter a priori les brouillages qui résulteraient d'émissions hors bande, d'émissions non essentielles et d'intermodulations sur un site ou entre sites voisins. Des menus contextuels proposent les caractéristiques possibles des équipements (fréquences, puissances, affaiblissements...) et l'on peut ensuite commander des simulations de brouillage et de bilan de liaison, à partir de fenêtres spécifiques. Les résultats sont imprimés sous forme d'un graphe synoptique des équipements. Tant pour l'introduction de nouveaux services que pour expertiser un brouillage éventuel, ce logiciel apporte donc une amélioration décisive par rapport aux méthodes expérimentales classiques.

Une cohabitation pas toujours facilement "compatible"... En effet, sur un site de radiocommunication, les interactions entre émetteurs et récepteurs ne sont pas toujours simples à maîtriser, sachant l'écart, parfois énorme, entre les puissances d'émission et les sensibilités des récepteurs. En effet, les émetteurs de télévision analogique peuvent atteindre une puissance de 25 kW.
La sensibilité de certains récepteurs de radiocommunication peut descendre au milliardième de watt, voire moins ! L'ordre de grandeur du rapport entre les deux : plusieurs milliers de milliards...

▲ feuille de résultats des simulations des différents brouilleurs émis

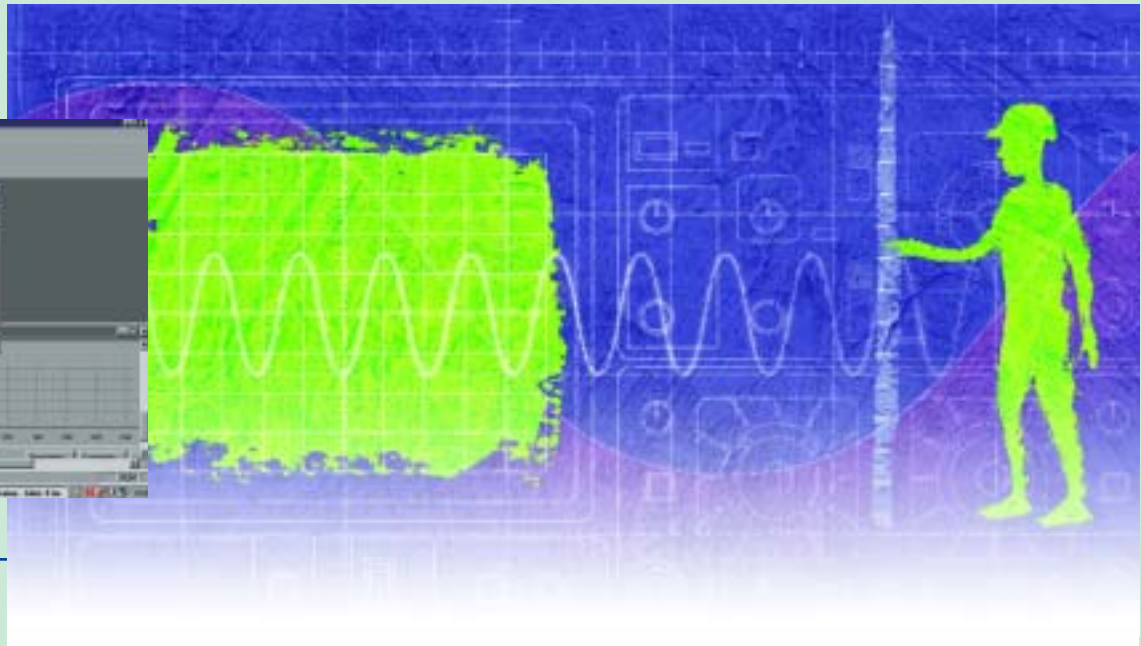


▲ Les différents mécanismes de brouillage



▲ donnée d'entrée de Lorraine : Le diagramme réel des antennes

▼ chaîne de multiplexage des différents émetteurs



IVOIRE

Le logiciel Ivoire est utilisé par les responsables de projet pour réaliser des études d'ingénierie dans les domaines de radiodiffusion et du transport hertzien.

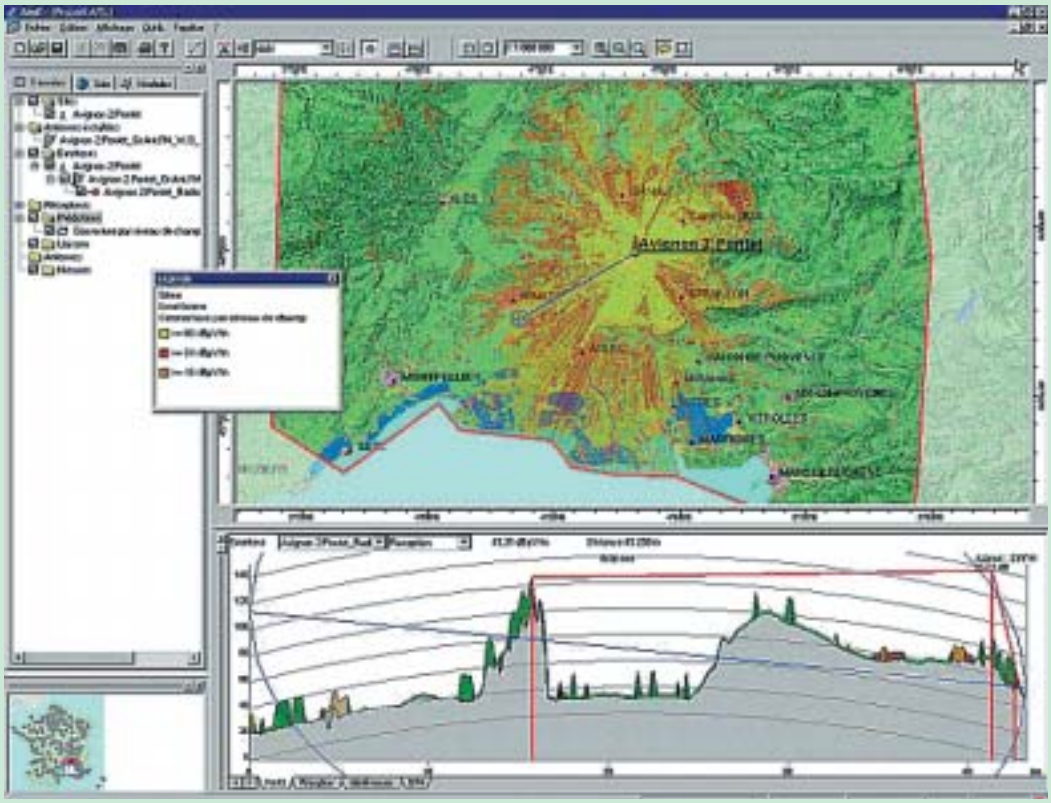
Cet ensemble logiciel permet le calcul des zones de couvertures en télévision et radio (dans les bandes III, IV, V, FM et depuis peu en ondes moyennes et FM synchrone), des zones de service en télévision analogique, télévision numérique terrestre (TNT), DAB terrestre et FM synchrone. Il offre la possibilité avec le module Cécilia (développé par la R&D de TDF) de calculer des zones de couvertures à partir de mesures sur le terrain. Le module FH permet d'analyser les liaisons utilisées par TDF pour le transport hertzien des programmes diffusés.

TDF a fait développer un module de fonctions spécifiques à la radiodiffusion (modèles de propagation, imports de mesures, intégration au système d'information…), dénommé IVOIRE sur la base de la plateforme ATOLL permettant la planification de réseaux. La mise en page des résultats d'IVOIRE, en particulier les zones de couverture, est assurée par le logiciel de cartographie ARCVIEW.

Evaluation du champ au sol autour du site d'émission

Le logiciel Atoll-Ivoire interfacé avec Arcview est aussi utilisé pour la production de documents cartographiques. Ces cartes sont jointes aux différents documents techniques fournis par TDF à ses clients.

Ces outils ont permis une production industrielle des zones de couvertures des 12000 points de service TV, mises en ligne dans l'extranet de TDF pour les clients.



Etude d'une couverture radio à Avignon avec analyse de la propagation du signal radioélectrique entre l'émetteur et un site de réception

Bilan et perspectives

Interview de Jean-Marc Chaduc,
Directeur Général de l'Agence Nationale des Fréquences

Ingénieur général des télécommunications, Jean-Marc Chaduc a exercé de nombreuses fonctions, notamment au Centre National d'Etudes des Télécommunications et au sein de plusieurs Ministères, en particulier à la Direction générale des Postes et Télécommunications. Il est Directeur Général de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFr) depuis la création de cet organisme en décembre 1996.

Agence Nationale des Fréquences

Au-delà de la planification des bandes de fréquences, l'ANFr exerce d'autres missions concernant la Compatibilité Electromagnétique et la protection en matière de santé et d'environnement. Pouvez-vous, dans un premier temps, préciser ces missions ?

L'ANFr a été créée en 1997 au moment où les pouvoirs publics prenaient conscience de l'importance des enjeux (économiques, techniques et stratégiques) de la gestion du spectre, alors qu'arrivaient de toutes parts de nouveaux utilisateurs en radio, téléphonie, audiovisuel, transmissions satellite… Il était donc dévolu à l'Agence la mission suivante, de l'amont à l'aval :

- planifier le spectre, dans une optique à moyen ou long terme, en relation avec les instances internationales (UIT, CEPT...)
- gérer le déploiement des émetteurs radio en faisant appliquer les procédures pouvant garantir la meilleure compatibilité électromagnétique possible,
- effectuer les contrôles nécessaires sur le terrain (nous avons six centres régionaux en France).

Pour tout cela, l'Agence s'appuie sur ses forces propres (350 personnes environ) et ses actions accompagnent celles des autorités sectorielles, intervenant directement dans la gestion locale et technique des fréquences, selon l'application : c'est l'ART pour les télécommunications, le Ministère de la Défense pour ses prérogatives, le CSA enfin pour l'Audiovisuel.
Avant tout, notre objectif consiste à faire régner une certaine harmonie dans les ondes : nous tenons à jour le tableau national des fréquences, nous examinons les demandes d'établissement de sites, nous les contrôlons aussi...

Quelles évolutions avez-vous constatées au cours de ces cinq années ?

Les ondes se sont rapprochées des gens, c'est très net.

Dans un passé relativement récent, les sites émetteurs étaient affaire de spécialistes. Or, depuis quelques années, avec la multiplication des offres nouvelles (nouveaux services de communication, téléphonie mobile cellulaire, systèmes de télécommande...), les réseaux se sont multipliés en se "capillarisant"... On a vu fleurir des antennes un peu partout, sur les toits, en haut de pylônes, dans les voitures, en extrémité de téléphone ou de micro-ordinateurs !... Sont apparus un peu partout des réseaux plus ou moins concurrents, utilisant des fréquences proches, des réseaux fortement évolutifs. La situation s'est donc complexifiée.

Face à cette effervescence, le public a d'abord été sensible aux aspects esthétiques liés à la prolifération de structures métalliques. Puis, devant l'omniprésence des ondes, les interrogations se sont déplacées vers les questions de santé. Cela nous a incité à nous pencher sur la question de l'autorisation des sites et aussi, à lancer une réflexion sur les relations entre le public et les professionnels de la radio.

La problématique aujourd'hui posée implique, à mon avis, deux nécessités :

- il faut aller vers une gestion de plus en plus fine des émissions,
- il faut connaître de mieux en mieux la "géographie" des ondes.

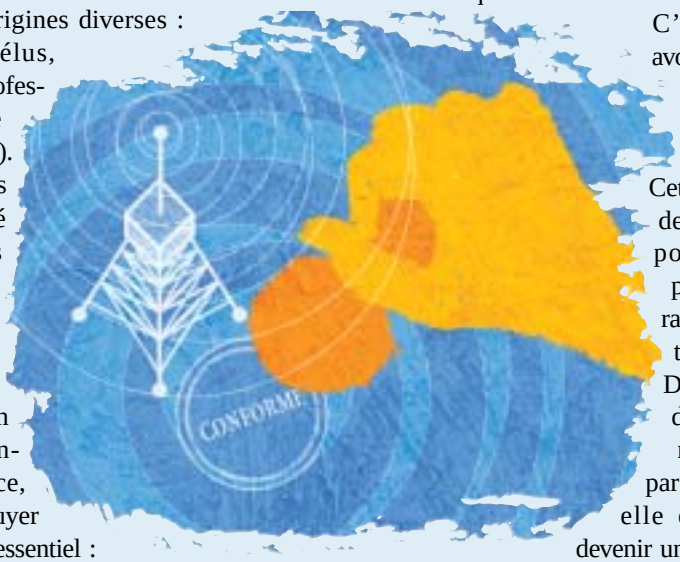
Comment la procédure d'autorisation de sites a-t-elle évolué récemment en matière de radiodiffusion ?

La procédure COMSIS fonctionne selon les grandes lignes suivantes. Toutes les décisions d'implantation, de transfert ou de modification des stations de radiodiffusion sonore ou visuelle sont prises après avis de l'Agence. Celle-ci prend contact avec tous les utilisateurs susceptibles de présenter des objections relatives à des brouillages possibles. Le délai est de deux mois maximum et, en général, tout s'arrange parfaitement. Nous avons dû intervenir sur 1 à 2 % des dossiers pour faire diminuer telle puissance d'émission, ou éviter telle fréquence, voire obtenir telle autre temporairement, etc. Les difficultés les plus notables peuvent se produire lorsque coexistent des émetteurs puissants et des récepteurs très sensibles ou encore s'il y a, sur un même site, quantité d'émetteurs très proches. Mais on arrive toujours à trouver

des solutions : il suffit de bien clarifier les contraintes techniques, d'appliquer les réglementations et de faire preuve d'un peu de bonne volonté professionnelle...
Tout cela est donc bien rodé.

En ce qui concerne d'éventuelles menaces sanitaires, sur la base de quels éléments intervenez-vous ?

Nous mettons en œuvre des démarches de concertation analogues, l'objectif étant de s'assurer que les rayonnements émis ne dépassent pas les seuils sanitaires réglementaires.
Dans ce cas toutefois, nous avons affaire à des partenaires d'origines diverses : techniciens, élus, associations, professionnels de santé, citoyens...). Nous avons beaucoup milité pour obtenir des seuils quantifiés qui soient déterminés d'après les travaux de médecins. En effet nous pensons, à l'Agence, qu'il faut s'appuyer sur un principe essentiel : laisser les spécialistes faire leur métier, ne pas s'ingérer dans les compétences d'autrui. Les réglementations officielles doivent être basées sur des résultats médicaux et non sur des sentiments. Notre rôle à nous, consiste seulement à faire appliquer ces réglementations, dans le cadre de la procédure COMSIS, le CSA pouvant toujours suspendre l'autorisation d'émettre si l'opérateur ne s'engage pas formellement à respecter les normes...
De plus et par précaution, nous prêtons une attention particulière aux sites dits "sensibles" : nous demandons à être informés de projets d'émission à proximité d'écoles, d'hôpitaux, etc. Ce ne sont pas des motifs scientifiques qui nous poussent à agir ainsi, mais nous voulons pouvoir répondre correctement aux craintes du public.



La campagne de mesure effectuée sur tout le territoire national a permis de dresser un panorama des rayonnements électromagnétiques en France. Quels enseignements majeurs en retirez-vous ?

La mesure objective de l'état réel des rayonnements sur un site est une affaire complexe. Il faut tenir compte de rayonnements provenant de sources parfois fort différentes. Les mesures dépendent de la fréquence, et aussi de la configuration des lieux, du contexte, elles varient dans le temps, etc. Il fallait donc aborder cette question avec sérieux.
C'est ce que nous avons fait en mettant au point un protocole validé par les professionnels. Cette expérience a eu deux conséquences positives. D'une part, elle nous a rassuré sur la situation en France. D'autre part, notre démarche, pionnière, a été reprise par plusieurs pays et elle est en passe de devenir une procédure européenne commune.

A la suite des récents décrets, quelles sont, d'après vous, les grandes évolutions à venir à court ou moyen terme ?

Le décret français du 3 mai 2002 fixant les seuils du rayonnement admissible s'est largement inspiré des réglementations établies au niveau européen : il n'y avait aucune raison de durcir les seuils, comme l'ont fait certains pays arbitrairement. Mais bien sûr, la situation est évolutive. Il nous faut rester en état de veille. D'une part, les recherches se poursuivent : nous devons donc rester attentifs, prêts à modifier nos pratiques si la réglementation devait évoluer à l'avenir. D'autre part, on voit apparaître parfois des phénomènes sociaux imprévus et étonnants. Prenons le cas des brouilleurs par exemple...

Une rigoureuse campagne de mesures

A la suite du rapport Zmirou et de la publication des réglementations européennes, l'ANFr a voulu préciser quelle était réellement la situation en France du champ ambiant. Pour cela, elle a lancé une campagne de mesures sur un panel de plus de 100 sites choisis pour leur représentativité :
- au niveau technique (sources variées, comprenant des émetteurs de radio ou de télédiffusion, des émetteurs cellulaires GSM ou TETRA, ainsi que des sites privés et des sites multiservices, dans une gamme de puissance allant de quelques centaines de Watts à plusieurs dizaines de Kilowatts, mesures effectuées à l'extérieur et à l'intérieur des immeubles),
- au niveau géographique (régions diverses : ville et campagne, espaces publics et privés, densités de population environnante variées...),
- au niveau sociologique (sites faisant l'objet de controverses, sites sensibles par rapport à la proximité d'écoles ou d'hôpitaux, etc.).

Des protocoles rigoureux de mesures quantitatives bien reproductibles ont été spécifiés et validés par les experts du domaine, dans le cadre d'un groupe de travail présidé par l'ANFr et comprenant les centres de recherche du CSTB, France Télécom R&D, TDF, Bouygues Telecom, Cegetel et Alcatel. L'intérêt était de disposer ainsi d'une méthode objective, seule capable de répondre aux besoins d'information et de décision par rapport aux recommandations en vigueur.
Après une analyse des sites pour déterminer des points de mesure judicieux, la mesure effective des champs est effectuée par des professionnels expérimentés et qualifiés. Les mesures sont faites, fréquence par fréquence, et selon un processus déterminé. Tous les champs supérieurs au millième des niveaux de seuil de référence sont pris en compte et il est fait appel à un protocole particulier pour les champs supérieurs au centième de ces niveaux. Enfin, les résultats chiffrés peuvent être édités sous un format normalisé de façon à être comparés aux résultats de simulation numérique et aux valeurs de niveaux réglementaires.
L'ensemble de la campagne a duré environ un an.
Il ressort de cette étude que les niveaux de champ radioélectrique sont nettement inférieurs aux recommandations européennes, sur tout le territoire national, avec des marges allant d'un facteur 100 à 10000 en puissance. Les résultats des mesures s'accordent bien avec les modélisations et ils confirment, notamment, les périmètres de sécurité établis au sein des sites eux-mêmes.
On dispose ainsi d'un outil et d'un ensemble de données, dont l'intérêt dépasse le seul besoin d'information et qui constituent une base essentielle à l'application des principes de précaution et de prudence. La mise au point d'une procédure rigoureuse (COMSIS) avant implantation ou modification de sites a notamment pu bénéficier de cette nouvelle connaissance objective.

Un exemple de planification : les grands événements

Aujourd'hui, beaucoup de grands événements sociaux ou médiatiques reposent sur la coexistence de réseaux radio multiples : manifestations sportives, spectacles, visites de personnalités... Pour cela, l'ANFr suit une procédure rigoureuse, selon les trois étapes suivantes :

- D'abord, faire l'état des lieux de l'environnement radioélectrique préalable à la manifestation. Vérifier sur le terrain si toutes les normes sont respectées.
- Recenser les demandes liées à la manifestation. Sont-elles compatibles entre elles et avec l'environnement de départ ? Sinon, faire les arbitrages nécessaires. Eventuellement, obtenir des déblocages temporaires de fréquences supplémentaires.
- Assurer enfin un contrôle étroit durant tout le déroulement de la manifestation. Repérer tout dysfonctionnement technique (facile à corriger en général). Et surtout : empêcher toute émission non prévue ou non conforme. Parfois, une légère entorse est susceptible de générer de dangereuses réactions en cascade...

Cette démarche rationnelle permet d'éviter bien des difficultés et d'assurer le bon fonctionnement de montages parfois fort complexes, dans le cadre d'enjeux importants.
Ce savoir-faire de l'ANFr est en cours d'exportation.

On conçoit la gêne que l'usage abusif du radiotéléphone peut occasionner à des activités très diverses par nature : des avions aux salles de spectacles, en passant par les lieux de culte ou les prisons ! On voit maintenant apparaître l'émission de brouilleurs, à des fins de protection offensive et la loi les autorise dans certains cas ! Que faut-il penser lorsque le législateur se saisit immédiatement de tels dossiers ?
Au-delà du niveau accru de perturbation spectrale que ces brouilleurs génèrent, ce phénomène, apparemment anodin, soulève des questions de fond ! Que risquent de devenir les principes fondamentaux touchant à la protection des radiocommunications si l'on accepte cela ? Devra-t-on à l'avenir recenser des systèmes de plus en plus variés qui soient "libres d'emploi sans garantie de fonctionnement ?". On imagine quelles conséquences un tel principe pourrait avoir sur les équipements de sécurité par exemple !...
On le voit, la multiplicité des offres soulève des questions parfois difficiles.
En fait, pour maîtriser de mieux en mieux l'efficacité utile du spectre, il faut, tout simplement, instaurer un certain nombre de règles, qui assureront l'équilibre entre "liberté" et "garantie de fonctionnement". Pour éviter d'entrer dans des dilemmes, restons vigilants : efforçons-nous de prévoir, restons fidèles aux principes d'objectivité qui nous ont guidés jusqu'ici : mesurer avec sérieux, faire confiance aux gens de métier pour fixer les normes, les faire respecter avec vigueur.
En ce qui concerne plus particulièrement l'audiovisuel, une évolution importante se produira certainement dans le futur. Elle concerne l'ingénierie des ondes dans l'espace et le temps : il faudra éviter davantage les interactions entre les champs forts et les champs faibles, utiliser à chaque instant et à chaque endroit les fréquences au plus strict besoin, aller vers une densité de puissance plus localement répartie... Les techniques numériques montrent la tendance et faciliteront cette évolution, qui est à long terme.

Dans cette optique, permettez-moi d'insister sur l'importance de la cartographie des rayonnements : pouvoir disposer précisément, site par site, fréquence par fréquence, de toutes les données les plus fines ; cette information garantira la meilleure capacité à adapter les rayonnements à leur environnement et de planifier l'ensemble le plus harmonieusement possible. Nous y travaillons déjà et les logiciels de modélisation constituent pour cela des outils puissants, extrêmement précieux.
Vous l'avez bien compris à TDF : votre métier est en train de changer. Emettre les puissances nécessaires ne constitue plus votre seule mission. Gérer les ondes au quotidien, prévoir les évolutions, planifier le déploiement des fréquences et la modification ou la fin de leur usage, modéliser, gérer les effets techniques, économiques, environnementaux et sanitaires, tel est l'ensemble des tâches qui revient désormais au "gestionnaire de sites".

Emetteur de la Tour Eiffel : principaux résultats des mesures. Rapport entre les niveaux de champ mesurés et les valeurs limites correspondantes

Fréquences d'émission	Mesures effectuées sur la pelouse au centre de l'esplanade du Trocadéro	Mesures effectuées à 7 km (en zone pavillonnaire sur les terrasses de Meudon)
FM (87,5 à 108 MHz)	9,4 fois inférieur	107 fois inférieur
TV : - 173 à 223 MHz - 470 à 830 MHz	11,3 fois inférieur	29,5 fois inférieur

Un exemple de cartographie “type” du niveau de champ autour d’une station de base.

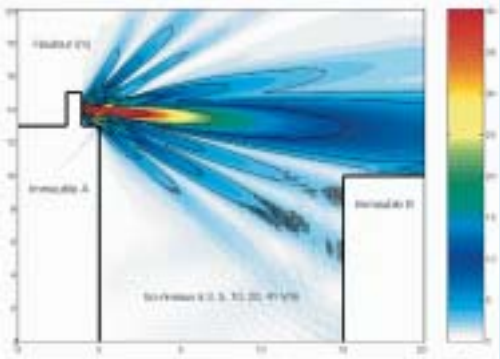
Des études de simulation ont été effectuées afin d’établir une typologie des sites d’émission radiotéléphonique par rapport aux recommandations sur la santé.

Les résultats présentés concernent une station GSM (900 MHz) de forte puissance (20 Watts, 43 dBm) avec une antenne (de gain 15,5 dB) inclinée de 5° vers le sol.

On constate ici que :

- le champ face à l’antenne satisfait au niveau recommandé dès que l’on atteint quelques mètres,
- il est fortement atténué en-dessous du lobe principal,
- le niveau reste inférieur à 3V/m. aux endroits fréquentés par le public (immeuble en vis-à-vis de l’antenne).

Ces travaux ont été mis au point en coopération avec l’Ecole Nationale des Télécommunications de Bretagne. En complément des résultats de mesure, ils ont notamment servi de base à l’établissement des circulaires fixant les conditions requises pour implanter des antennes GSM relais.

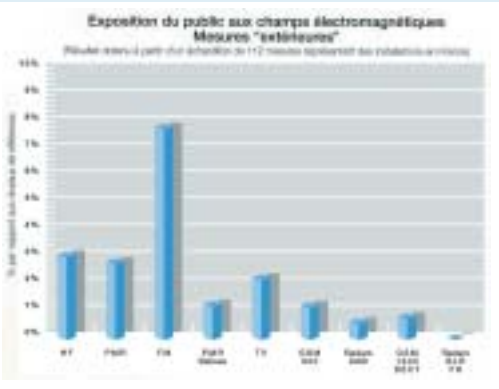


▲ Diagramme de champ proche

Résultat des mesures d’exposition du public à l’extérieur

Mesures effectuées sur un échantillon de 112 sites représentatifs des installations en France.

Ces résultats montrent que l’exposition moyenne du public aux rayonnements électromagnétiques n’atteint pas 8 % de la recommandation européenne.



La procédure COMSIS

Cette procédure préalable à l’implantation et aux modifications des sites radioélectriques a été instaurée conformément aux textes en vigueur, pour assurer la meilleure compatibilité électromagnétique possible.

D’après cette procédure, les accords et avis de l’ANFr concernant la CEM des sites sont instruits par une “Commission des sites et servitudes”. De plus, à la suite du décret du 3 mai 2002, un document “santé” complémentaire a été rendu obligatoire. Cela permet à l’ANFr de superviser le respect des prescriptions du décret (règles d’implantation, niveaux de champs, périmètres de sécurité, etc.) et de tenir compte de sites particuliers qui seraient proches des émetteurs (écoles, crèches, établissements de soins, etc.).

▲ Antenne Orange Mairie de Vernon

ALARA	As Low As Reasonably Achievable - Aussi faible que raisonnablement possible
ANFR	Agence Nationale des Fréquences
ART	Agence de Réglementation des Télécommunications
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CEM	Compatibilité ElectroMagnétique
CENELEC	Comité Européen de Normalisation pour l'Electrotechnique
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
DAS	Densité d'Absorption Spécifique, ou SAR
ETSI	European Telecommunication Standards Institute (Institut Européen de Normalisation des Télécommunications)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - Commission internationale pour la protection contre les rayons non ionisants
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RADAR	RAdio Detecting And Ranging
RTTE	Radio and Telecommunication Terminal Equipment (équipements hertziens et équipements terminaux de télécommunication)
SAR	Specific Absorption Rate, ou DAS
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UTE	Union Technique de l'Electricité

Ont participé à la rédaction de ce numéro,
sous la direction de Daniel Sauvet-Goichon :
Nathalie Ajerar,
Jean-Jacques Delmas,
François Jacquin,
Jacques Martin,
Emmanuel Nicolas,
Henri Leclerc.

Pilotage éditorial :
Florence Davoust
TDF - Direction de la Communication

INFERENCE - Février 2003
Publication de la Direction du Développement de TDF
Rédaction et suivi éditorial : Jacques Fleuret
Conception graphique : PRAGMA Publicité
Impression : Absolu

Crédit illustrations :
Olivier Damiens/Alizarine

Crédit photos :
ANFr, AP Hôpitaux de Paris, France Télécom R&D, Mairie de Lyon,
Palais de la Découverte, SALIES, TDF.

TDF remercie vivement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce numéro.

Groupe TDF
10, rue d'Oradour-sur-Glane – 75732 Paris Cedex 15
Tél. (33) 1 55 95 10 00
www.tdf.fr