

L'homme et les champs électromagnétiques

L'homme vit en permanence baigné dans des champs électromagnétiques. Cet article donne les bases qui permettent de mieux comprendre ce que sont les ondes électromagnétiques, comment ces ondes sont générées, comment est-ce qu'on les mesure. Les collaborateurs du Laboratoire de compatibilité électromagnétique de METAS mettent à disposition de l'industrie les étalons pour la mesure des champs électromagnétiques, en participant à des comparaisons internationales.

FRÉDÉRIC PYTHOUD

Qui n'a pas, un jour, été émerveillé de découvrir la magie du téléphone sans fil ou du Natel qui permettent de communiquer à distance, sans lien matériel, avec l'interlocuteur ? Cette fascination laisse imaginer l'enthousiasme des chercheurs et inventeurs qui ont, pour la première fois, réalisé des transmissions sans fils : d'abord sur des courtes distances, puis sur quelques kilomètres, à travers la Manche, à travers les océans, et finalement dans l'espace, à travers les millions de kilomètres qui nous séparent des sondes spatiales envoyées pour sonder les confins du système solaire. Cette émerveillement laisse naturellement place à la question intéressante et pourtant tellement embarrassante : « Comment ça marche ? ».

Représentation des ondes électromagnétiques

Une façon d'aborder le problème de la transmission sans fils n'est peut-être pas de se demander « Comment ça marche ? » ou « Pourquoi ça fonctionne ? », mais plutôt d'essayer de répondre à la questions suivante : « Comment peut-on se représenter le fonctionnement de la transmission d'informations sans fils ? ». Ce phénomène est similaire à la propagation de vaguelettes à la surface de l'eau (photo 1), un peu comme si nous étions en permanence baignés dans une grande étendue d'eau.

Dans le cas de la transmission sans fils, on donne le nom d'ondes électromagnétiques aux vagues que l'on observe à la surface de l'eau. Cette représentation permet déjà de percevoir



1 Les ondes électromagnétiques sont similaires aux ondes que l'on peut générer à la surface de l'eau.



Absorption

Dipôle

Émetteur

2 Beat Mühlemann, collaborateur du laboratoire CEM au METAS, met en évidence la présence des ondes électromagnétiques devant un émetteur à l'aide d'un petit dipôle sur lequel se trouve une ampoule. La présence de champ permet d'allumer l'ampoule. Toute l'énergie lumineuse est « extraite » du champ électromagnétique par le dipôle lui-même. Dans cette expérience, il n'y a donc aucune autre source de courant qui serait cachée dans le dipôle.

quelques unes des propriétés des ondes électromagnétiques : la diffusion, la réflexion sur un objet, l'atténuation du signal avec la distance, les interférences.

L'onde électromagnétique transporte les informations de notre message jusqu'au récepteur. Elle n'est pas visible directement, contrairement à une vague sur l'eau, mais sa présence peut être mise en évidence à l'aide d'instruments appropriés, comme le montre une expérience réalisée à METAS (photo 2).

L'onde électromagnétique a la propriété de pouvoir se propager dans le vide absolu, contrairement aux ondes matérielles comme les vagues, qui ont besoin d'eau, ou le son, qui a besoin d'air. Cette onde peut être décrite précisément avec un système d'équations, les équations de Maxwell, qui s'appliquent à un milieu immatériel : le « champ électromagnétique ». On pourrait se représenter ce concept comme la surface de l'eau dans le cas des vagues : l'onde est le mouvement et le champ électromagnétique le support de ce mouvement.

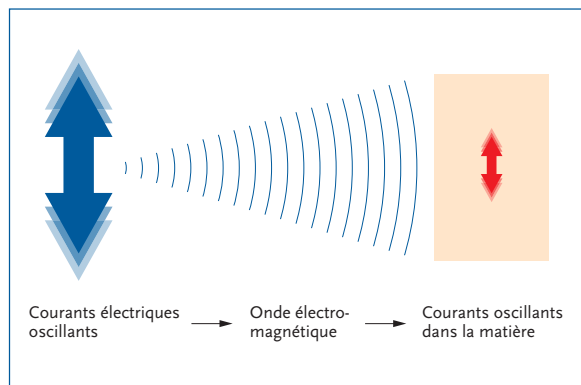
Le spectre connu des ondes électromagnétiques s'étend de pratiquement du Hz au EHz (Exahertz : 10^{18} Hz) voire plus. Il couvre toute une série de phénomènes que nous percevons différemment : les ondes radio, les rayons infrarouges, la lumière visible, les rayons ultraviolets, les rayons X, les rayons gamma. Notre attention se concentre dans cet article aux ondes dont la fréquence se situe entre 0 Hz et 300 GHz, que l'on appelle souvent rayonnement non ionisant.

Création et absorption des ondes électromagnétiques

Comment sont produites les ondes électromagnétiques ? Les équations de Maxwell nous permettent de répondre à ces questions : les ondes électromagnétiques sont générées par des courants électriques oscillants : ainsi, pas de courants oscillants, pas d'ondes électromagnétiques ! Ces courants peuvent être macroscopiques, comme ceux, qui circulent dans l'antenne de votre téléphone portable, ou microscopiques, comme ceux créés pas les électrons gravitant autour d'un noyau d'atome.

Les ondes électromagnétiques agissent en exerçant des forces sur les particules constitutives de la matière qui sont chargées électriquement. Ces forces déplacent les particules chargées en provoquant ainsi des courants électriques (illustration 3). Ainsi une antenne d'émission n'est autre chose qu'une structure métallique qui permet de faire circuler des courants oscillants. Sa forme et ses dimensions sont déterminées afin de provoquer les plus grands champs électromagnétiques possibles pour une fréquence ou une plage de fréquences déterminée. Une antenne de réception est une structure métallique qui est optimisée pour générer les courants les plus forts lorsque l'antenne est placée dans un champ électromagnétique.

Il est intéressant de constater que la présence ou non d'ondes électromagnétiques en un point donné de l'espace ne peut être vérifié qu'en mesurant le courant qui circule dans objet que



3 Principes d'interaction des ondes électromagnétiques : les ondes électromagnétiques sont produites par des courants électriques oscillants et produisent elles-mêmes des courants oscillants dans la matière.



4 Nous vivons dans un environnement, baignés d'ondes électromagnétiques de sources multiples et de fréquences très diverses. Il ressemble à la surface agitée de ce plan d'eau, où l'on n'arrive plus à identifier les ondelettes séparément.

l'on a pris soin de placer au point donné. Dans le cas des rayonnements non ionisants, on utilise des antennes de mesures ou sondes de champ au sujet desquels METAS a publié un article en 2005 [1].

L'électrosmog dans notre environnement

Nous vivons dans un environnement où l'électricité est omniprésente. De nombreux courants électriques circulent tout autour de nous : les alimentations de nos appareils, les processeurs de nos ordinateurs, les systèmes de communications sans fils, les émetteurs radio placés dans le paysage. Tous ces courants créent des ondes, chacune avec sa fréquence et donc sa longueur d'onde. Si l'on essayait de représenter le champ électromagnétique, dans lequel nous vivons quotidiennement, il ressemblerait un peu à ce qui se trouve dans la photo 4 : on y trouve une superposition de vagues de toutes les grandeurs, qui se mélangent, se croisent. Ces ondes sont présentes à l'extérieur comme à l'intérieur de nos bâtiments.

L'impact des ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques créent des courants dans la matière. A ce titre, ils peuvent perturber le bon fonctionnement d'un appareil électrique. Des normes de compatibilité électromagnétique (CEM) visent donc à réduire les émissions des appareils et également à réduire leur sensibilité aux champs.

Qu'en est-il de leurs effets sur le vivant ? Sont-ils dangereux ? Une petite expérience imaginaire, à ne réaliser sous aucun prétexte, répond très vite à cette question. Supposons que vous placiez votre petit animal domestique dans votre micro-onde, réglé à pleine puissance. Vous n'avez aucune peine à vous imaginer que dix minutes d'exposition suffiront à cuire complètement le malheureux animal qui n'aura pas survécu à l'expérience. Ainsi, les champs électromagnétiques peuvent, selon leur intensité, être fatals.

Dans le cas du micro-onde, les courants produits par les ondes électromagnétiques dans la matière sont si intenses qu'ils pro-

voquent l'échauffement de la nourriture. Ce sont les effets thermiques des ondes électromagnétiques, que l'on perçoit surtout dans les hautes fréquences (fréquences en dessus 1 MHz). Les effets thermiques ne sont cependant pas toujours aussi violents que dans le micro-onde : ils peuvent simplement, aux intensités plus faibles de rayonnement, contribuer à élever légèrement la température du corps humain.

Comme beaucoup de réactions biochimiques ne s'effectuent que dans une plage étroite de températures, ces effets thermiques ne sont pas très désirables. A côté des effets thermiques des ondes hautes fréquences, il existe également les effets athermiques qui s'observent aux intensités où les effets thermiques sont à peine perceptibles : influence sur les flux cérébraux et sur les phases du sommeil, modifications comportementales chez l'animal ou modifications physiologiques dans des cultures de cellules.

Dans le domaine des basses fréquences (50 Hz), on peut observer que, en présence de forte intensité de rayonnement électromagnétique, des courants électriques sont générés dans le corps humain. Ces courants peuvent déclencher des impulsions dans les cellules nerveuses et peuvent entraîner une contraction musculaire involontaire, voire une fibrillation ventriculaire. Ces phénomènes sont connus sous le nom d'effets d'excitation.

Dans le cas des basses fréquences on observe également, aux intensités bien plus faibles que celles qui produisent les effets d'excitation, des effets dits infraliminaires : modification du comportement et de la capacité d'apprentissage, effets hormonaux. Dans le cas de cultures cellulaires, on observe des modifications de la croissance, du métabolisme cellulaire et du matériel génétique cellulaire.

A tous ces effets observables s'ajoute l'augmentation possible du risque de cancers en présence d'ondes électromagnétiques de faible intensité. Les résultats scientifiques ne sont cependant pas tous cohérents sur ce sujet. Une référence précieuse concernant ces discussions est la brochure « L'électrosmog dans l'environnement », éditée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), disponible en quatre langues sur Internet ou que l'on peut commander gratuitement en version papier [2].

Des limites de dangerosité : la législation suisse

Ce constat de l'effet des ondes électromagnétiques sur la matière vivante impose une démarche préventive, celle de quantifier la limite de dangerosité des champs. L'International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) s'est penchée sur la question et a publié en 1998 des valeurs limites [3].

Ces valeurs ont été obtenues après un travail minutieux d'examen des sources d'informations alors disponibles : bases de données scientifiques, base des données des accidents liés aux ondes électromagnétiques, publications scientifiques. Elles

sont aujourd'hui internationalement reconnues. Elles sont principalement basées sur les effets d'excitation pour les champs basses fréquences et les effets thermiques pour les champs hautes fréquences.

La Suisse a publié une législation en la matière fin 1999 : L'Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) [4]. Cette ordonnance se base sur les valeurs de l'ICNIRP, qui sont référencées sous le nom de « valeurs limites d'immission ». De plus, en suivant le principe de précaution lié au fait que l'on ne connaît pas tous les effets des rayonnements électromagnétiques, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a introduit des valeurs limites dites « de l'installation », visant à limiter l'exposition de longue durée aux champs.

Ces limites sont nettement inférieures aux limites d'immission (10 à 100 fois inférieures suivant les fréquences) et doivent être respectées dans les « lieux à utilisation sensible » qui sont définis dans l'ordonnance et qui englobent les lieux où des personnes peuvent séjourner de façon prolongée.

La protection contre le rayonnement non ionisant dans la pratique

Après l'installation des antennes d'une station de base de téléphonie mobile par exemple (photo 5), il est parfois nécessaire de faire des mesures de contrôle dans les appartements qui peuvent potentiellement présenter des dépassements de champ. Dans ce cas, on fait souvent appel à un laboratoire accrédité pour ce type de mesure.



5 Station de base de téléphonie mobile.



6 Personnel de mesure effectuant un balayage systématique du volume de mesure.

À l'aide de sondes de champ, le personnel qualifié va pouvoir exécuter des mesures de champ dans la pièce. Comme la valeur de l'intensité du champ en un point ne peut être obtenue qu'en plaçant un instrument de mesure en ce point, le laboratoire va devoir procéder à un balayage complet de tout le volume à mesurer, en essayant d'avoir une résolution plus faible que la longueur d'onde (environ 10 cm à 30 cm) pour les communications mobiles (photo 6).

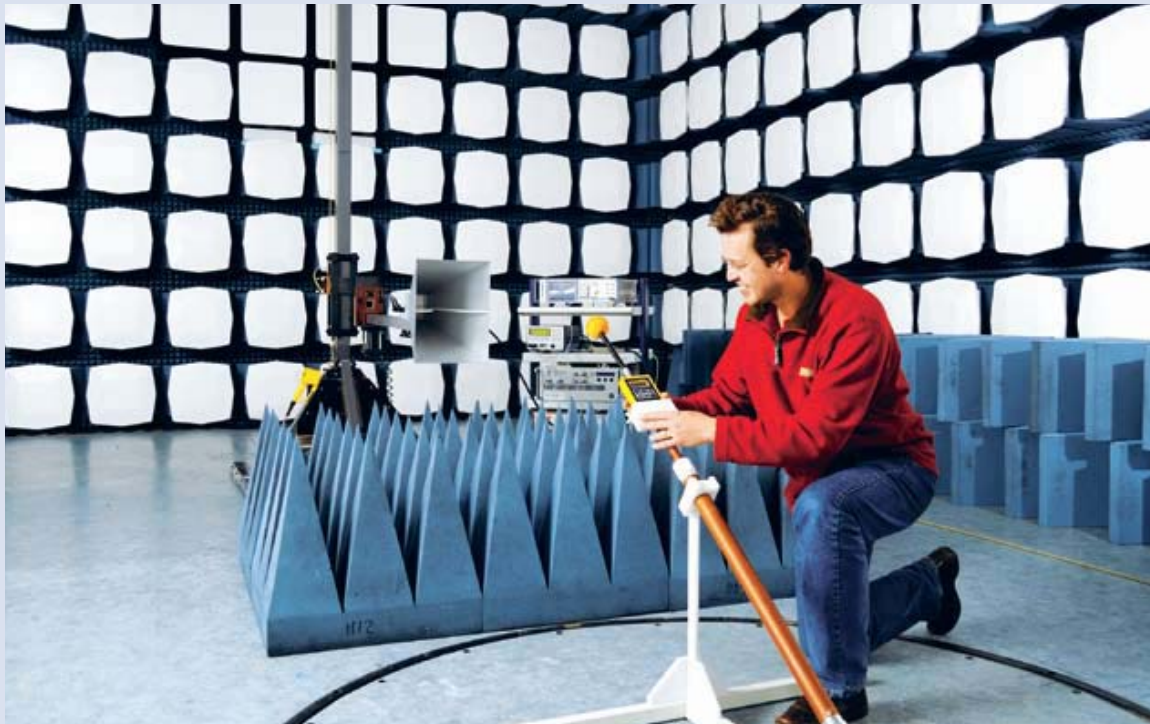
Si l'on utilise la comparaison avec les vagues, on pourrait dire que notre spécialiste se trouve dans la situation suivante : il doit mesurer la hauteur des vagues dans une petit port de pêcheurs. Il ne voit pas les vagues et ne dispose comme instrument que d'un petit flotteur, qu'il peut placer à son gré dans le port, et dont il peut mesurer l'amplitude du mouvement. Le travail est fastidieux, car tout l'espace du petit port doit être sondé. D'autre part, la position des bateaux peut influencer la configuration des interférences, le moment de la mesure peut jouer un rôle sur les valeurs mesurées.

Cette analogie simple permet de comprendre la difficulté de la mesure du champ dans une pièce : l'agencement du mobilier, la position du personnel de mesure, la présence ou non de pluie à l'extérieur peuvent influencer la mesure. Déterminants pour le respect d'une valeur limite sont le maximum de l'intensité du champ électrique (mesuré en V/m) et/ou du champ magnétique (mesuré en A/m ou en μ T) que l'on peut trouver dans toute la pièce.

Pour la détermination de ce maximum, il est important de considérer tous les paramètres spécifiques aux ondes électromagnétiques : les variations temporelles, les variations spatiales, la polarisation des ondes, la direction de propagation, ainsi que la fréquence de mesure. C'est un travail laborieux qui nécessite du temps et du savoir-faire.

On comprend ainsi aisément que les incertitudes de mesures soient relativement grandes dans ce genre d'exercice. On parle typiquement de 40 % à 50 % d'incertitude. Au début un peu choquantes, ces incertitudes ne sont en aucun cas un obstacle au contrôle des valeurs limites contenues dans l'ordonnance. En effet, que le champ ait une intensité de 1 V/m, 2 V/m ou 4 V/m, alors que la limite est de 4 V/m (valeur d'installation pour le GSM 900), n'est en soit pas si déterminant. Ce qui est important, c'est qu'il n'y ait ni 10 V/m ni 100 V/m non plus. Et de savoir qu'à 0.1 V/m le champ est toujours présent et mesurable, bien que sa nocivité ne soit pas démontrée.

D'autre part, à la complexité de la mesure elle-même s'ajoutent les détails du traitement mathématique des résultats, par exemple pour tenir compte du fait que les limites s'appliquent lorsque l'émetteur fonctionne dans son mode déterminant. Par mode d'exploitation déterminant on entend le mode d'exploitation dans lequel un maximum de conversations et de données est transféré, l'émetteur étant au maximum de sa puissance. Ce qui évidemment ne correspond pas forcément au mode de fonctionnement de l'émetteur pendant l'exécution des mesures.



Le Laboratoire de compatibilité électromagnétique à METAS dispose d'une chambre anéchoïque hybride ainsi que d'une infrastructure, qui lui permettent d'étalonner les appareils de mesure de champ. La chambre anéchoïque reproduit un environnement sans écho d'ondes électromagnétiques, et donc sans interférences. Elle offre une plage d'utilisation de 30 MHz à 20 GHz.

Les collaborateurs du laboratoire de compatibilité électromagnétique à METAS étalonner également différents com-

posants qui sont utilisés par les laboratoires privés de compatibilité électromagnétique. De par son expertise en mesure de champ, il contribue activement à l'élaboration des recommandations de mesures et d'application en relation avec l'ORNI [5] et organise des comparaisons nationales et internationales qui permettent de valider les étalons mis à disposition de l'industrie. Le laboratoire de compatibilité électromagnétique offre également son support technique aux entreprises.

7 Infrastructure et prestations de METAS dans le domaine de la compatibilité électromagnétique.

Références

- [1] Invisible et pourtant on les mesure, METinfo 1/2005, (www.metas.ch/emc/metINFO2005-1.pdf).
- [2] L'électrosmog dans l'environnement, brochure de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), disponible au lien www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00686.
- [3] Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics 74 (4), pp. 494-522; 1998, disponible au lien www.icnirp.org/PubEMF.htm.
- [4] Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI), en vigueur en Suisse depuis février 2000, disponible au lien www.admin.ch/ch/f/rs/c814_710.html.
- [5] Recommandations de mesures, disponible aux liens www.metas.ch/nisv ou www.bafu.admin.ch/elektrosmog.



Frédéric Pythoud, chef du laboratoire
Compatibilité électromagnétique, tél. +41 31 32 33 335,
frederic.pythoud@metas.ch.

Der Mensch und die elektromagnetischen Felder

Elektromagnetische Wellen gleichen den Wellen, die sich auf der Wasseroberfläche ausbreiten, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. Elektromagnetische Wellen werden durch elektrische Ströme erzeugt. In unserem Alltag gibt es zahlreiche Quellen von elektromagnetischen Strahlungen. Das elektromagnetische Umfeld, in dem wir uns befinden, gleicht der Oberfläche eines bewegten Sees: Es ist nicht möglich festzustellen, aus welcher Richtung die Wellen kommen. Auch ist es schwierig, die Länge der Wellen oder deren Amplitude einzuschätzen.

Die elektromagnetischen Wellen interagieren mit der Materie, insbesondere mit lebender Materie. Weisen sie hohe Intensitäten auf, können sie ungesund sein. Um den mit der Nutzung dieser Wellen verbundenen Risiken vorzubeugen, hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) Grenzwerte festgelegt. Dabei stützte es sich auf die Arbeit internationaler Kommissionen. Um prüfen zu können, ob diese Grenzwerte eingehalten werden, ist es nötig, die elektromagnetischen Wellen zu messen.

Angesichts der zahlreichen Parameter der elektromagnetischen Wellen (Polarisation, Ausbreitungsrichtung, Frequenz, zeitliche und räumliche Veränderungen) ist es nicht einfach, diese Messungen durchzuführen. Das BAFU hat in Zusammenarbeit mit METAS Messempfehlungen herausgegeben, die einen methodischen und systematischen Rahmen für diese Messungen liefern.

L'uomo e i campi elettromagnetici

Le onde elettromagnetiche sono simili alle onde che si propagano alla superficie dell'acqua, come i cerchi che si ottengono quando si lancia un sasso nell'acqua. Le onde elettromagnetiche sono generate da correnti elettriche. Nella nostra vita quotidiana le fonti d'irradiazione sono multiple. L'ambiente elettromagnetico nel quale viviamo assomiglia alla superficie di un mare agitato, in cui non si riesce più a distinguere bene da dove provengono le onde, né si riesce a valutare la loro lunghezza d'onda o la loro amplitudine.

Le onde elettromagnetiche interagiscono con la materia e in particolare con gli esseri viventi. Ad intensità elevate possono essere malsane. Per prevenire i rischi associati all'utilizzazione di queste onde, l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ha definito dei valori limite, basandosi sul lavoro di commissioni internazionali. Per controllare questi valori limite è necessario misurare le onde elettromagnetiche.

Tenuto conto di tutti i parametri delle onde elettromagnetiche (polarizzazione, direzione di propagazione, frequenza, variazioni temporali e spaziali) non è così evidente effettuare queste misure. In collaborazione con il METAS, l'UFAM ha pubblicato delle raccomandazioni per le misurazioni, che consentono di dare un quadro metodico e sistematico a queste ultime.

Man and electromagnetic fields

Electromagnetic waves are similar to the waves which spread across the surface of water, like the circles that form when a stone is thrown into the water. Electromagnetic waves are generated by electric currents. In our everyday environment, there are multiple sources of electromagnetic radiation. The electromagnetic environment we live in therefore resembles the surface of a choppy lake, where it is impossible to distinguish where the waves are coming from or appreciate their wavelength and amplitude.

The electromagnetic waves interact with matter and in particular with living matter. At high intensities, they can be unhealthy. In order to prevent the risks linked to the use of such waves, the Federal Office for the Environment (FOEN) has defined limit values based on the work of international commissions. To check whether these limit values are being respected, it is necessary to measure the electromagnetic waves.

Given the number of parameters involved in electromagnetic waves (polarisation, direction of propagation, frequency, temporal and spatial variations), making these measurements is not such an easy task. The FOEN, in conjunction with METAS, has published a set of recommendations that provide a methodical and systematic framework for these measurements.