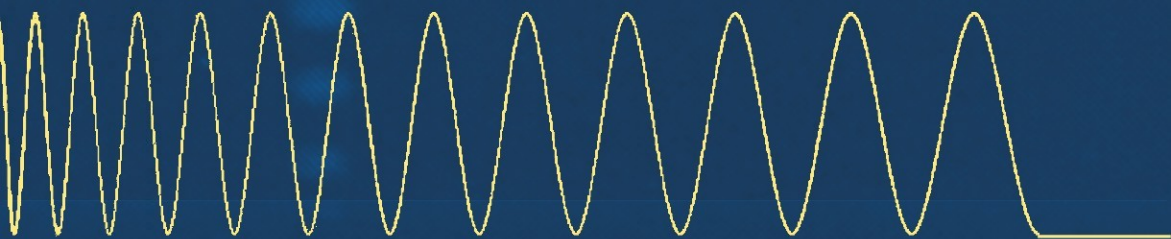


Sous la direction de
Anne Perrin et Martine Souques

Champs électromagnétiques, environnement et santé



Champs électromagnétiques, environnement et santé

Springer

Paris

Berlin

Heidelberg

New York

Hong Kong

Londres

Milan

Tokyo

Champs électromagnétiques, environnement et santé

Sous la direction de

Anne Perrin

Martine Souques



Springer

Anne Perrin

Martine Souques

ISBN : 978-2-8178-0132-2 Springer Paris Berlin Heidelberg New York

© Springer-Verlag France, Paris, 2010

Imprimé en France

Springer-Verlag France est membre du groupe Springer Science + Business Media

Cet ouvrage est soumis au copyright. Tous droits réservés, notamment la reproduction et la représentation la traduction, la réimpression, l'exposé, la reproduction des illustrations et des tableaux, la transmission par voie d'enregistrement sonore ou visuel, la reproduction par microfilm ou tout autre moyen ainsi que la conservation des banques de données. La loi française sur le copyright du 9 septembre 1965 dans la version en vigueur n'autorise une reproduction intégrale ou partielle que dans certains cas, et en principe moyennant le paiement des droits. Toute représentation, reproduction, contrefaçon ou conservation dans une banque de données par quelque procédé que ce soit est sanctionné par la loi pénale sur le copyright.

L'utilisation dans cet ouvrage de désignations, dénominations commerciales, marques de fabrique, etc. même sans spécification ne signifie pas que ces termes soient libres de la législation sur les marques de fabrique et la protection des marques et qu'ils puissent être utilisés par chacun.

La maison d'édition décline toute responsabilité quant à l'exactitude des indications de dosage et des modes d'emplois. Dans chaque cas il incombe à l'utilisateur de vérifier les informations données par comparaison à la littérature existante.

Maquette de couverture : Jean-François Montmarché

Mise en page : Desk



Ce livre est une version mise à jour et restructurée de l'ouvrage Les Effets biologiques des rayonnements non ionisants publié en 2001 (A. Duchêne et J. Jousot-Dubien, Flammarion, coll. « Médecine-Sciences »).

Il est dédié à Jacques Jousot-Dubien, décédé le 28 mai 2009. Président de la section Rayonnements non ionisants de la Société française de radioprotection (SFRP) de 1999 à 2003, il a toujours été un membre fidèle et dynamique du bureau de cette section, soucieux de faire partager ses connaissances.

Préface

J.-F. Doré

Réalisons-nous que la lumière visible, les rayonnements ultraviolets et infrarouges du Soleil, mais aussi les ondes radio, celles de nos téléphones portables, les micro-ondes de nos fours sont tous des ondes électromagnétiques de la famille des rayonnements non ionisants ? N'en avons-nous pas une perception faussée par un débat récurrent sur les possibles dangers de l'exposition aux rayonnements électromagnétiques exploités par les technologies de communications sans fil ?

Le débat sur les dangers des « ondes » est fortement médiatisé. Mais il est trop souvent biaisé, au nom de l'objectivité et de la nécessité d'un débat contradictoire, en opposant systématiquement les points de vue des « pour » et des « contre », ce qui aboutit à une surreprésentation des points de vue minoritaires. Les exemples de telles médiatisations abondent au cours de ces dernières années, entraînant une certaine défiance du public à l'égard des experts. Des scientifiques eux-mêmes contribuent à entretenir les controverses, en affirmant des points de vue péremptoirs, le plus souvent en dehors de leur propre domaine de compétence ! Ils attirent ainsi les médias et peuvent influencer leurs concitoyens ou du moins instiller le doute sur les positions présentées comme celles de la « science officielle ».

De telles attitudes ne datent pas d'hier et ne sont pas propres aux champs électromagnétiques. On peut citer en exemple une des grandes figures de la vie scientifique et politique de la première moitié du XIX^e siècle, le mathématicien, astronome et physicien, François Arago (1786-1853), à qui nombre de villes françaises rendent hommage en lui dédiant une avenue ou un boulevard. Élu en 1809, à l'âge de 23 ans, à l'Académie des sciences, il en deviendra ultérieurement le secrétaire perpétuel. N'avait-il pas, lors d'un débat à l'Assemblée nationale le 13 juin 1836, tenté de s'opposer au projet de ligne de chemin de fer Paris-Versailles de la rive droite ? Un de ses principaux arguments étant qu'il faudrait pour ce tracé forer un tunnel sous le parc de Saint-Cloud et que ce tunnel produirait des inconvénients dus à la fumée et au froid. Écoutons Arago : « *J'affirme*

sans hésiter que dans ce passage subit [du chaud au froid] les personnes sujettes à la transpiration seront incommodées, qu'elles gagneront des fluxions de poitrine, des pleurésies, des catarrhes. [...] » Il avait aussi prédit que le transport en wagon de chemin de fer allait efféminer les soldats en leur faisant perdre le goût de la marche !

Dans le domaine très médiatisé de la téléphonie mobile, par exemple, la situation est paradoxale. De très nombreuses recherches biologiques expérimentales et épidémiologiques dont les résultats sont globalement négatifs ne permettent pas de montrer l'existence d'un risque ni même d'envisager un mécanisme biologique susceptible d'étayer un éventuel effet sanitaire de rayonnements d'aussi faible intensité que ceux émis par les antennes notamment. Malgré tout, le doute et les craintes perdurent dans l'esprit du public, mais en même temps la téléphonie mobile connaît un développement explosif.

En matière de risque, le seul moyen d'apporter de la clarté dans le débat et de faire objectivement l'état des connaissances est celui de l'expertise scientifique collective. C'est la méthode mise en œuvre depuis plusieurs décennies par le CIRC¹, mais aussi par l'INSERM², l'Afsset³ et bien d'autres instances internationales comme notamment le SCENIHR⁴ de la Commission européenne ou encore l'ICNIRP⁵. La recette est simple : elle consiste à réunir un groupe d'experts choisis pour leur compétence dans le domaine considéré, en tenant compte d'éventuels conflits d'intérêts, pour conduire une analyse exhaustive et critique des données scientifiques disponibles et aboutir à un consensus, ce qui n'exclut pas la prise en compte de positions minoritaires clairement exprimées et argumentées.

Mais les rapports d'expertises collectives ne sont pas toujours facilement accessibles à un simple « honnête homme ». Le grand mérite de l'ouvrage coordonné par Anne Perrin et Martine Souques, d'origines professionnelles différentes et dont les compétences sont complémentaires, est de présenter sous une forme accessible l'état des connaissances actuelles. Martine Souques et Anne Perrin sont, en 2010, respectivement présidente et vice-présidente de la section Rayonnements non ionisants (RNI) de la Société française de radioprotection (SFRP) qui a pour vocation de promouvoir les échanges et la

1. Centre international de recherche sur le cancer.

2. Institut national de la santé et de la recherche médicale.

3. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail incluse dans l'actuelle Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

4. Scientific Committee of Environmental Newly Identified Health Risks ou Comité scientifique pour les risques sanitaires nouveaux et émergents.

5. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ou Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants.

connaissance scientifiques sur les rayonnements, et ce livre est publié sous l'égide de la SFRP. Il couvre l'ensemble des rayonnements électromagnétiques non ionisants, des champs statiques aux rayonnements ultraviolets. L'objectif n'est pas de se focaliser sur les aspects les plus médiatiques du sujet, mais au contraire de faire découvrir les champs électromagnétiques non ionisants dans leur ensemble. Sa lecture demande sans doute un peu d'attention et de concentration, mais, sans tomber dans une vulgarisation réductionniste, il permet de donner un aperçu suffisamment détaillé des thèmes abordés grâce à une volonté des auteurs de rendre les connaissances accessibles. Les expertises collectives les plus récentes sont mises à profit et citées tout au long du livre. Chacun des chapitres est rédigé par un spécialiste reconnu du domaine. Les étudiants, les enseignants ou les responsables en charge de questions relatives aux champs électromagnétiques y trouveront des bases solides ainsi que de nombreux renseignements en lien avec des situations d'ordres technique, sanitaire, réglementaire autant que pratiques.

Merci d'avoir fait cet effort réussi de simplification sans altérer le contenu. Souhaitons à cet ouvrage la diffusion qu'il mérite.

Sommaire

Préface	VII
J.-F. Doré	
Contributeurs	XIII
Introduction	1
A. Perrin et M. Souques	
Rappels physiques sur les rayonnements électromagnétiques	5
A. Aurengo	
L'IRM et les champs électriques et magnétiques statiques	15
A. Perrin	
L'électrochimiothérapie et les impulsions électriques	31
L. M. Mir	
L'électricité et les champs électriques et magnétiques d'extrêmement basse fréquence	41
J. Lambrozo	
L'induction et les fréquences intermédiaires	57
M. Souques et R. de Seze	
Les communications sans fil et les radiofréquences	69
B. Veyret	
Les RFID	87
J.-C. Debouzy et A. Perrin	
Le rayonnement infrarouge	95
L. Court	

La lumière et le rayonnement visible	103
L. Court	
Le Soleil et le rayonnement ultraviolet	115
J.-P. Césarini	
Les lasers	133
D. Courant	
Présentation des auteurs	149
Unités	155
Acronymes	157
Glossaire	161
Index	169

Contributeurs

Section rayonnements non ionisants
Société française de radioprotection (SFRP)
BP 72
92263 Fontenay-aux-Roses Cedex France

Auteurs

André Aurengo
Jean-Pierre Césarini
Daniel Courant
Louis Court
Jean-Claude Debouzy
Jacques Lambrozo
Lluís M. Mir
Anne Perrin
René de Seze
Martine Souques
Bernard Veyret

Le texte final est le fruit de nombreux échanges entre les auteurs.

Nous remercions aussi tous ceux qui ont relu et contribué activement à l'enrichissement de cet ouvrage, tout particulièrement Emmanuel Barbier, Pierre Bégot, Stéphanie Billot Bonef, Alice Collin, Annette Duchêne, François Gaudaire, Colette Giraudet, Isabelle Lagroye, Jean-François Le Bas, Jean-Marc Le Douce, Isabelle Magne, Emmanuel Nicolas, Catherine Yardin.

Introduction

A. Perrin et M. Souques

« La science est à ce jour le meilleur moyen de s'approcher de la réalité à un moment donné. Même si elle n'a pas vocation à éclairer sur le sens de la vie ou à fournir la vérité avec un grand V, elle peut y contribuer en fournissant aux décideurs et aux citoyens qui en font l'effort les moyens de se forger leur propre opinion. »
Alan Sokal et Jean Bricmont

Les humains, comme tous les êtres vivants, ont toujours évolué au milieu de rayonnements naturels, dont certains ont permis le développement de la biodiversité et demeurent indispensables à la vie. De nos jours, l'exposition aux champs électromagnétiques présente des origines multiples, naturelles et artificielles. La multiplication des sources artificielles est liée au développement technologique. En particulier, l'exposition quotidienne aux ondes électromagnétiques s'est diversifiée depuis la mise en place du réseau de distribution électrique et le développement de la radiodiffusion au début du siècle dernier. Cet environnement électromagnétique est parfois appelé « électrosmog ». Le caractère naturel ou artificiel de l'exposition occupe une place prépondérante dans les considérations actuelles sur les risques environnementaux potentiels, et les controverses qui les accompagnent.

La gamme des ondes, ou rayonnements, électromagnétiques est vaste. Le spectre électromagnétique s'étend de la fréquence nulle avec les champs électriques et magnétiques statiques jusqu'à l'infini (rayonnements cosmiques). Tout en ayant une base physique commune, les ondes transportent des énergies très variables. En se propageant, elles investissent un espace appelé champ électromagnétique, où le terme « champ » renvoie de façon plus générale à une zone où s'exercent des forces, comme on parle de champ gravitationnel, ou plus métaphoriquement, de champ d'action. Depuis un peu plus de cent ans, on sait que ces rayonnements se traduisent par un large éventail de phénomènes physiques aussi différents que les champs magnétiques statiques, l'électricité, les ondes radio, les micro-ondes,

la lumière visible, les rayons du Soleil, les rayons X, la radioactivité, etc. De nature curieuse et inventive, l'humain n'a donc pas manqué d'en explorer les propriétés, et bien sûr de les mettre à profit à des fins utilitaires, pour agrémenter son quotidien ou pour de multiples applications médicales, industrielles ou militaires. Notre qualité de vie est devenue largement tributaire des avancées technologiques dues à la maîtrise de ces différentes ondes, il serait maintenant difficile d'imaginer le retour à une vie quotidienne sans électricité, télévision, télécommandes en tous genres, radio ou téléphone sans fil.

C'est la nature des interactions ondes-matière selon le type d'onde, associée à une puissance d'émission suffisante, qui est à l'origine d'effets biologiques ou sanitaires. De fait, les grandeurs physiques à prendre en compte varient en fonction de la fréquence. Dans la gamme des fréquences élevées du spectre, les rayonnements dits ionisants sont suffisamment énergétiques pour modifier des molécules en leur arrachant des électrons par un phénomène d'ionisation*. Ce mécanisme peut être à l'origine de modifications provenant de cassures mal réparées au sein des molécules d'ADN*, support de l'information génétique (mutations). Cela confère un caractère mutagène* aux rayonnements concernés pouvant, par voie de conséquence, se révéler cancérogènes. C'est le cas des rayons gamma par exemple.

Par opposition, les champs et rayonnements électromagnétiques dont l'énergie est trop faible pour produire une ionisation dans les milieux qu'ils traversent sont regroupés sous le terme générique de rayonnements non ionisants (RNI). Leur mode d'action sur l'organisme est différent, fondé sur la circulation de courants et/ou des phénomènes d'échauffement selon la fréquence. Les rayonnements ultraviolets se situent à la frontière entre ionisant et non ionisant, mais ils sont restés classés avec la famille des RNI bien qu'ils soient des mutagènes avérés. Une erreur courante consiste à penser que la dangerosité potentielle d'un RNI est d'autant plus forte que sa fréquence est élevée, ce qui n'est pas le cas puisque l'interaction ondes-matière et la puissance sont également à prendre en compte.

À l'exception de la lumière, les rayonnements de l'ensemble de la gamme ne sont pas perçus de façon immédiate par nos sens dans les conditions d'usage habituelles. De fait, pour tout un chacun, ils sont souvent difficiles à concevoir dans leur réalité physique ce qui incite parfois à les diaboliser ou – *a contrario* – à les ignorer et à ne pas s'en méfier lorsque cela serait nécessaire.

Dans cet ouvrage, il ne sera question que des RNI, et en particulier de ceux qui font partie de notre environnement quotidien.

Une vigilance soutenue s'impose quant aux risques éventuels, même faibles, de telles expositions, car elles concernent un grand nombre de personnes. Il est donc nécessaire d'envisager objectivement les effets potentiels de ces expositions sur la santé pour être en mesure de s'en prémunir en connaissance de cause. Cela justifie l'analyse minutieuse des effets des RNI sur les systèmes biologiques et de l'influence qu'ils sont susceptibles d'exercer sur l'homme lui-même afin d'établir des limites d'exposition à ne pas dépasser, garantissant l'absence de risque pour la santé (réglementation, recommandations). Les études sont généralement très

complexes à mettre en œuvre. Elles font appel à des compétences à la fois en physique et en sciences biomédicales, d'où des collaborations transdisciplinaires entre équipes de chercheurs. C'est dans ce sens que sont conduits actuellement les projets de recherche en France et dans le monde entier. Il peut s'agir d'études épidémiologiques en environnement réel, ou d'expériences en laboratoire. Ces dernières demandent des équipements spécialisés, souvent coûteux, et font appel à des techniques différentes selon le type d'onde et les effets considérés. De ce fait, les spécialistes eux-mêmes focalisent leurs compétences sur une partie du spectre et ne sont pas experts pour tous les types de rayonnements.

Il existe des normes visant à éviter les effets nocifs pouvant être engendrés par l'exposition aux RNI dans certaines conditions. En Europe, elles sont fondées sur les travaux de l'ICNIRP¹ qui définit les restrictions de base (seuils préconisés) servant à établir des recommandations et des directives européennes, elles-mêmes reprises dans chaque pays pour l'élaboration éventuelle de décrets visant à appliquer la réglementation de façon pratique. Pour l'évaluation du risque, l'ICNIRP fonde ses conclusions sur une revue critique de la littérature scientifique et maintient une veille bibliographique permanente. Parallèlement, des rapports d'expertise et des avis peuvent être rendus par des institutions comme l'OMS² au niveau mondial, ou l'Afset³ (devenue Anses⁴) en France. Ces derniers permettent de s'assurer que les valeurs limites sont suffisamment protectrices face à l'usage des RNI, notamment par les technologies nouvelles, et de promouvoir des axes de recherche si besoin. À l'échelle du pays, ces avis apportent des aides à la gouvernance en matière de gestion des risques. Les autorités gouvernementales sont chargées de prendre les mesures estimées nécessaires à la protection de la population à partir des données de la science tout en tenant compte des aspects sociétaux, ce qui n'aboutit pas forcément à des décisions fondées sur la rationalité scientifique.

Dans le contexte actuel où la communication est dominée par les messages brefs et médiatiques, il n'est pas aisé de fournir au public une information de nature scientifique sur les champs électromagnétiques, ni sur leurs effets biologiques et sanitaires, dans un langage facilement compréhensible par tout le monde. Des effets biologiques sont parfois assimilés directement à des effets sur la santé alors que ce n'est pas nécessairement le cas.

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ou Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants. L'ICNIRP est une organisation non gouvernementale émanant de l'Association internationale de radioprotection (IRPA), officiellement reconnue par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation internationale du travail (OIT) dans le domaine des rayonnements non ionisants. <http://www.icnirp.org/>

Les États-Unis suivent les recommandations de l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) pour les rayonnements électromagnétiques à l'exception des rayonnements optiques.

2. Organisation mondiale de la santé (en anglais, WHO : World Health Organization)

3. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.

4. Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

De plus un effet, pour être avéré, doit pouvoir être retrouvé lorsque l'expérience est répétée, mais aussi à partir de plusieurs études différentes dont les résultats sont cohérents. Nombre d'idées fausses ou d'idées reçues circulent sur les effets des RNI. Il y a parfois une simplification excessive de la question, des amalgames fâcheux ou une façon orientée de traiter les données actuelles en faveur de thèses préconçues. Les effets peuvent être exagérés ou au contraire minimisés. Au final, extrapolations et conclusions hâtives, souvent sensationnelles, alimentent régulièrement la chronique et arrivent même à se glisser jusque dans certaines revues plus spécialisées.

Après une présentation générale des RNI, cet ouvrage résume simplement, mais le plus fidèlement possible, l'état des connaissances pour différentes catégories de champs électromagnétiques susceptibles d'être rencontrés dans l'environnement quotidien. Il concerne avant tout les expositions du public et non les applications industrielles ou professionnelles qui pourront être évoquées au passage. Deux techniques médicales seront néanmoins présentées plus en détail bien que l'une comme l'autre ne soient pas à proprement parler des sources d'exposition rencontrées au quotidien. D'une part, l'IRM* qui devient une méthode d'exploration à laquelle les médecins recourent de plus en plus fréquemment. D'autre part, l'électrochimiothérapie* qui est une méthode thérapeutique récente ; sa présentation permet d'aborder les effets spécifiques des impulsions électriques et l'usage pouvant en être fait. Agencés suivant l'ordre des fréquences croissantes, les différents chapitres traitent chacun d'un type particulier de rayonnement en étant, lorsque c'est possible, centrés sur une source d'émission représentative : IRM et champs statiques, électrochimiothérapie et impulsions électriques, électricité et extrêmement basses fréquences, induction et fréquences intermédiaires, communications sans fil et radiofréquences*, RFID*, rayonnement infrarouge, lumière et rayonnement visible, Soleil et rayonnement ultraviolet et enfin, lasers*. Les caractéristiques propres de ces champs sont abordées dans un premier temps. Le point est ensuite fait sur les principales sources d'émission, les connaissances actuelles sur les effets biologiques et les limites d'exposition recommandées par les organismes internationaux pour pouvoir les utiliser en sécurité.

Des spécialistes, médecins, biophysiciens et physiciens, ingénieurs ou chercheurs se sont associés pour rédiger les textes dans leur domaine de compétence. Nous avons opté pour un livre à tiroirs où chacun pourra s'immerger en fonction de sa curiosité et de l'état actuel de ses connaissances. Ce n'est ni un catalogue exhaustif de toutes les études faites à ce jour sur les effets biologiques et sanitaires des champs électromagnétiques, ni une réduction de l'état des connaissances à quelques études choisies. Le but n'est pas non plus de présenter toutes les sources de RNI. Pour approfondir, le lecteur pourra consulter un certain nombre de rapports de synthèses bibliographiques disponibles et des textes référencés au fil des différents chapitres.

À la fin de l'ouvrage sont rassemblés la liste des abréviations, les principales unités employées ainsi que le glossaire où sont définis les mots marqués d'un astérisque (*).

Sous la direction de
Anne Perrin et Martine Souques

Champs électromagnétiques, environnement et santé

Nombre d'idées fausses circulent sur les effets des rayonnements non ionisants sur notre santé. Elles conduisent à une simplification excessive, à des amalgames fâcheux ou à une analyse parfois orientée des données. Les effets peuvent être alors exagérés ou plus grave, minimisés. Les auteurs de cet ouvrage (médecins, ingénieurs ou chercheurs) se sont attachés à fournir au public une information scientifique validée, facilement compréhensible et raisonnée sur les champs électromagnétiques et leurs effets biologiques et sanitaires.

Après un rappel général sur la physique des ondes et une présentation des rayonnements non ionisants, les auteurs font le point sur les principales sources d'émission rencontrées dans un environnement quotidien. Ils résument simplement, mais le plus fidèlement possible les connaissances actuelles sur leurs effets biologiques et les limites d'exposition recommandées par les organismes internationaux pour pouvoir les utiliser en sécurité.

Conçu comme un livre à tiroirs, chacun pourra s'immerger en fonction de sa curiosité et de son niveau de connaissances. Ce n'est ni un catalogue exhaustif de toutes les études faites à ce jour, ni une réduction de l'état des connaissances à quelques études choisies. L'objectif n'est pas non plus de présenter toutes les sources de rayonnements non ionisants.

S'il le souhaite, le lecteur intéressé pourra approfondir ses connaissances en consultant les sélections bibliographiques présentées par les auteurs à la fin de chaque chapitre.

28 € TTC

ISBN : 978-2-8178-0132-2



9 782817 801322

 [springer.com](https://www.springer.com)