

## Avant-propos

*« La connaissance est la seule richesse  
qui s'accroît lorsqu'on la partage. »*

Qu'on le veuille ou non, nous sommes tous exposés aux champs électriques, magnétiques ou électromagnétiques produits par le simple fait d'utiliser l'électricité comme l'expliquent les lois de la physique. Le nombre d'équipements électriques, donc rayonnants de tels champs, n'a cessé de croître depuis la fin de XIX<sup>e</sup> siècle, période de la première communication sans fil et du début de la diffusion de l'électricité.

Ces équipements ont radicalement changé notre mode vie. Ils apportent le confort, rendent les tâches plus faciles et permettent le diagnostic et la thérapie en médecine. De plus, ils ont profondément modifié notre façon de communiquer. Chaque service à distance proposé a l'obligation d'exister indépendamment d'un autre, aussi les rayonnements s'étendent sur l'intégralité du spectre de fréquence pour éviter de se perturber.

Et ce n'est pas terminé. Ce spectre, entièrement réglementé (les états propriétaires en concédant l'utilisation) est une ressource limitée. Il sera de plus en plus occupé à temps plein. Il n'y aura plus de fréquence au repos, car les transmissions de demain géreront le spectre en dynamique avec les technologies de radio logicielle dans le but d'offrir toujours plus de services, de débits.

Le nombre d'émetteurs et de récepteurs continuera de croître à un rythme soutenu. Notre téléphone regroupera, en plus des fonctions considérées de base aujourd'hui (téléphonie, internet et vidéo mobile, paiement sans contact, télé-commande), les fonctions internet des objets (IoT) et d'autres que l'on n'a pas encore imaginés. Les

freins seront davantage la standardisation et la protection de la vie privée (*Privacy Impact Assessment* ou PIA) que la technologie.

Nous sommes avides de ces nouvelles technologies malgré les interrogations qu'elles peuvent susciter chez certains au regard des champs électromagnétiques qu'elles rayonnent. Ces interrogations sont légitimes, car les champs sont imperceptibles et insaisissables. Pour la plupart d'entre nous, ils demeurent mystérieux.

Les préoccupations de la société vis-à-vis des rayonnements resurgissent à chaque saut technologique. On peut citer l'arrivée de la TSF dans les années 1930, la télévision dans les années 1960 et l'usage en masse des télécommunications sans fil depuis le début des années 1990. Le débat sur les lignes électriques est apparu tardivement à la fin des années 1970.

Néanmoins, ces champs peuvent être dangereux pour la santé et la sécurité s'ils sont intenses. Les effets délétères sont unanimement reconnus depuis des décennies. En revanche, la possibilité d'effets sur la santé lors d'exposition à long terme à des niveaux très faibles continue à entretenir des débats controversés.

L'exposition aux champs électromagnétiques est un domaine complexe, car d'une part, les grandeurs physiques concernées sont abstraites et, d'autre part, il est multidisciplinaire du fait des interactions avec les systèmes biologiques. La physique, la biologie, la médecine et la métrologie coexistent.

Dans la vie quotidienne, la population est exposée à des champs électro-magnétiques relativement faibles. Les champs sont plus importants en milieu professionnel. Les techniques électrochimiques, d'induction magnétique, de soudage, la distribution de l'énergie électrique et les télécommunications exposent les travailleurs à des champs élevés lorsqu'ils sont proches des sources de rayonnement.

Pour protéger le public et les salariés, des seuils à ne pas dépasser ont été établis. Ils ont acquis un statut législatif.

Il existe une grande confusion entre les champs électriques, les champs magnétiques et les champs électromagnétiques. La confusion s'étend aux effets biophysiques, biologiques et sanitaires. De plus, certaines publications utilisent ces termes de façon inappropriée. Il y a également une méconnaissance des sources de rayonnement. Peu de personnes savent comment les limites d'exposition ont été établies, quelles précautions l'on doit prendre pour effectuer des mesures de rayonnement et encore moins comment ces mesures et ces limites doivent être comparées. Se faire sa propre opinion dans ce domaine requiert un minimum de curiosité et de sensibilité scientifique.

Par ailleurs, la législation impose aux employeurs de protéger leurs salariés des champs électromagnétiques élevés, et aux fabricants de livrer des produits conformes, c'est-à-dire rayonnant de manière limitée, ou bien de fournir les restrictions d'usage.

## **Public concerné par cet ouvrage**

Cet ouvrage s'adresse à toute personne souhaitant acquérir un premier niveau de connaissances sur les champs électromagnétiques de 0 Hz à 300 GHz. Sa lecture demande une sensibilité scientifique. Il contient de nombreux exemples pour faciliter sa compréhension. Le lecteur pourra soutenir une discussion sérieuse, argumenter sur ce sujet sensible et analyser les parutions avec un regard critique.

Il s'adresse également aux acteurs de la prévention du risque électromagnétique tels que les ingénieurs ou techniciens responsables des conditions de travail, aux médecins, en particulier aux médecins du travail. Il est également destiné aux formateurs.

Les personnes chargées de veiller à la conformité de la réglementation destinée au public et/ou aux salariés auront des indications sur la démarche à suivre et sur la métrologie.

Les fabricants de matériel à usage domestique ou professionnel trouveront des éléments pour les guider, soit dans la conception (réduction voire suppression des rayonnements à la source), soit dans la réalisation de fiches de bon usage.

Enfin, les enseignants pourront s'inspirer de nombreuses applications concrètes afin d'illustrer leurs cours magistraux.

## **Avertissement aux lecteurs**

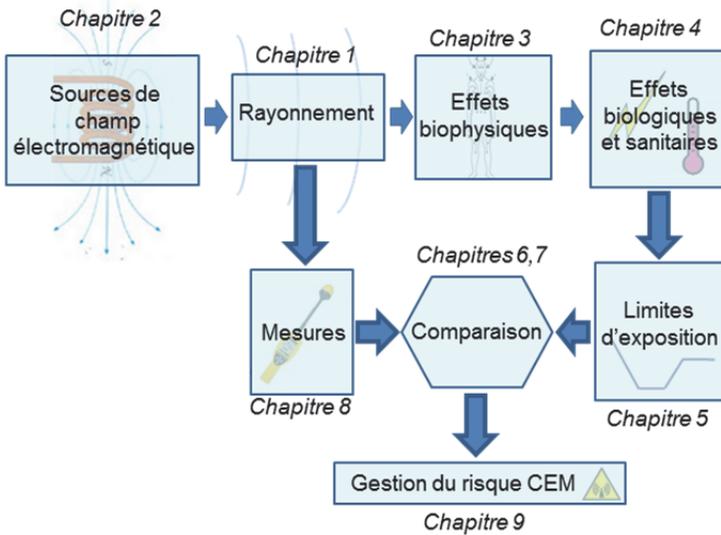
Cet ouvrage est une synthèse de directives, recommandations, guides, normes et autres publications officielles ou scientifiques relatifs à l'exposition humaine aux champs électromagnétiques. Ces documents peuvent être des références. En cas de mécompréhension des reformulations proposées, il convient de se reporter aux documents originaux.

Tout a été mis en œuvre pour que le contenu de cet ouvrage soit exhaustif et rigoureux. Cependant, si nos lecteurs relevaient quelques erreurs, nous les remercions par avance de nous les communiquer afin d'intégrer les rectificatifs dans les prochaines éditions.

## Conception et mode d'emploi de cet ouvrage

Cet ouvrage synthétise tous les aspects de « l'exposition humaine aux champs électromagnétiques de 0 Hz à 300 GHz ». Il permettra au lecteur de se faire une opinion sur le sujet et d'appliquer la réglementation en connaissance de cause. Il résulte de plusieurs années d'expérience réparties entre présentations, normalisations, vérifications de conformité, de mesurages, conception d'équipements prévus pour rayonner le moins possible ([www.exposition-cem.com](http://www.exposition-cem.com)).

Le contenu s'articule comme présenté par la figure 1. Il comporte neuf chapitres et deux annexes, bien que certains thèmes abordés mériteraient un ouvrage à part entière. Les principaux termes introduits sont regroupés dans le glossaire.



**Figure 1.** Structure de l'ouvrage

**Chapitre 1** : l'objectif est d'introduire les notions d'électromagnétisme. Ce chapitre, comme les suivants, est orienté « exposition ». Les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques s'expliquent par des lois physiques. Ils interagissent sur les organismes selon leur nature et des effets biologiques en découlent, aussi est-il indispensable de les présenter et de préciser le vocabulaire et les définitions pour une bonne compréhension. Les grandeurs physiques associées sont rappelées, car elles conditionnent les effets et le mesurage. Elles permettent également de définir des valeurs limites d'exposition. Bien que les fréquences s'étendent jusqu'à l'infini, le périmètre

« champs électromagnétiques » tel que défini est limité. Il est nécessaire de clarifier cet aspect. Ce chapitre est fondamental, car il est la porte d'entrée pour appréhender les concepts d'exposition. Pour certains, il est un rappel d'études lointaines, mais il devrait être abordable pour ceux qui présentent quelques lacunes en sciences physiques. Il est indispensable pour tirer pleinement parti de cet ouvrage.

**Chapitre 2** : il présente quelques sources de rayonnements rencontrées quotidiennement, quelques sources de rayonnements présentes sur le lieu de travail ainsi que des sources utilisées à des fins de diagnostic ou de thérapie. Il est impossible d'être exhaustif tant elles sont nombreuses et hétérogènes.

**Chapitre 3** : il décrit les mécanismes biophysiques. Comment les champs interagissent-ils avec la matière et plus particulièrement avec les tissus biologiques ? Il explique pourquoi ces tissus ne possèdent pas les mêmes propriétés électriques que la plupart des matériaux rencontrés en électrotechnique. Ce chapitre se situe également au niveau macroscopique. Il décrit comment les champs pénètrent dans le corps et de quelle manière ils se comportent selon leur nature et leur fréquence.

**Chapitre 4** : il relate les effets biologiques des champs, les effets sensoriels et les effets sanitaires. En effet, lorsque les champs sont très élevés, ils peuvent perturber certains sens ou nuire à la santé imperceptiblement. Les effets aigus reconnus sont présentés ainsi qu'une synthèse des résultats d'études sur les effets chroniques (effets à long terme). Les effets directs et indirects sont distingués. Les définitions sont rappelées pour éviter toute confusion.

**Chapitre 5** : les limites d'exposition (restriction de base, niveau de référence, etc.) suivent logiquement les effets biologiques. Ces limites ont été établies pour que ces effets ne deviennent pas indésirables au regard de la santé ou du bien-être. Ce chapitre justifie également la distinction entre l'exposition du public et celle des travailleurs. Il rappelle comment les limites ont été élaborées. Les valeurs sont résumées et illustrées pour être rapidement interprétées et comparées. Ce chapitre considère également les personnes à risque particulier.

**Chapitre 6** : il explique les méthodes de comparaison entre les champs mesurés ou calculés et les valeurs limites, notamment lorsque ces champs sont de formes complexes. Ces méthodes sont aussi importantes que les valeurs limites lorsque l'on évalue une situation d'exposition. En particulier, la méthode de crête pondérée à appliquer pour évaluer une exposition en basse fréquence est introduite. Nécessairement, ce chapitre comporte de nombreuses formules. Elles peuvent sembler complexes, mais en réalité la plupart d'entre elles restent compréhensibles même pour ceux qui ont quelques lacunes en mathématiques.

**Chapitre 7** : il illustre le précédent par des exemples d'applications théoriques et réelles. Leur compréhension permet de se familiariser avec les méthodes de calcul présentées. Sa lecture peut se faire dans un second temps.

**Chapitre 8** : il introduit les notions d'évaluation de l'exposition. Les techniques de mesurage des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques sont présentées. Les précautions opératoires et les sources d'incertitudes spécifiques à la nature des champs sont rappelées. Le mesurage des courants électriques de contact et induits est également introduit.

Le dernier paragraphe de ce chapitre aborde de manière succincte la dosimétrie, technique à mettre en œuvre lorsque le mesurage devient impossible pour des raisons physiques énumérées tout au long de cet ouvrage.

**Chapitre 9** : il resitue la Directive 2013/35/UE (champs électromagnétiques) dans le contexte européen et la reformule en donnant quelques indications pratiques pour sa mise en œuvre. Il s'appuie sur l'annexe 1 qui classe les équipements en fonction de leur intensité de rayonnement. Il permet de comprendre l'intérêt des systèmes de limites d'exposition présentés au chapitre 5 qui peuvent paraître obscurs.

L'**annexe 1** répartit les équipements et les lieux selon le niveau d'exposition aux champs électromagnétiques auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés. Elle vient en support du chapitre 9.

L'**annexe 2** présente les fonctions de pondération mises en œuvre pour l'évaluation de l'exposition selon la méthode de calcul utilisant la technique de crête pondérée. Elle complémente les chapitres 6 et 7.

Bonne lecture.