

Les ondes électromagnétiques Actions et effets sur le corps humain

Plusieurs interactions peuvent avoir lieu lorsqu'un travailleur se trouve exposé à un champ électromagnétique, entraînant des effets à court terme, directs (réponses biologiques) ou indirects. Cette fiche en donne une liste la plus complète possible.

Selon l'OMS, l'état actuel des connaissances scientifiques ne démontre pas la dangerosité à long terme d'une exposition aux champs électromagnétiques de faible intensité.

PRINCIPALES INTERACTIONS ENTRE LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET LA MATIÈRE VIVANTE

Les interactions entre les ondes électromagnétiques et le corps humain sont complexes et dépendent d'un grand nombre de facteurs liés aux caractéristiques de l'onde et du tissu

biologique rencontré. Un champ électromagnétique a généralement deux composantes – un champ électrique et un champ magnétique – et la nature des interactions est différente pour chacune de ces composantes.

L'importance des interactions dépend des paramètres suivants :

- l'intensité, la fréquence et l'orientation du champ électromagnétique auquel le tissu est exposé ;

- la géométrie du tissu, ses caractéristiques électromagnétiques (perméabilité magnétique et permittivité diélectrique) et sa conductivité;
- le couplage entre le champ et le corps (tissus, organes...).

Note: Le couplage représente le niveau d'interaction entre deux éléments. Il peut être plus ou moins important en fonction de leurs caractéristiques et positions respectives. On retrouve cette notion dans le cas d'une antenne de télévision hertzienne qu'il faut orienter correctement par rapport à l'émetteur pour optimiser le couplage et la réception des programmes.

Interactions entre le champ électrique et la matière

La permittivité diélectrique

La permittivité diélectrique d'un matériau décrit la réponse de celui-ci face à un champ électrique. Dans l'air, le champ électrique n'est quasiment pas différent du même champ se propageant dans le vide. Une permittivité proche de celle du vide est alors attribuée à l'air.

Les différents tissus constituant le corps humain ont chacun une permittivité propre. Le corps étant essentiellement constitué d'eau, la permittivité d'un grand nombre d'organes se trouve être proche de celle de l'eau qui est environ 80 fois supérieure à celle de l'air. C'est pour cette raison que la présence d'un corps humain modifie la répartition du champ électrique rencontré (figure 1).

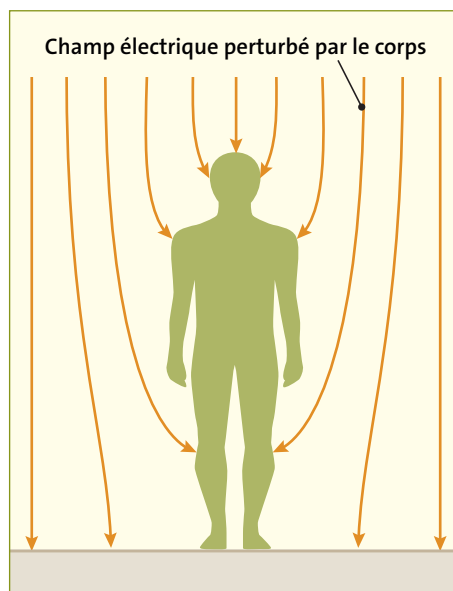


Figure 1. Perturbation d'un champ électrique statique par la présence d'un corps

La permittivité d'un matériau dépend de la fréquence; dans le cas du corps humain, elle décroît avec la fréquence: plus sa fréquence est élevée, moins le champ est perturbé.

Création d'un courant

Le champ électrique a pour effet de déplacer les charges électriques au sein d'un matériau. La conductivité du corps humain étant faible, peu de charges sont en jeu. Dans le cas d'un champ statique, les charges se concentrent à la surface du corps. Dans le cas d'un champ électrique variable dans le temps, l'orientation du champ s'inverse périodiquement et les charges se déplacent ainsi dans un sens puis dans l'autre. En d'autres termes, il y a création d'un courant alternatif (figure 2). Plus la conductivité d'un tissu est élevée, moins celui-ci va s'opposer au passage de ce courant.

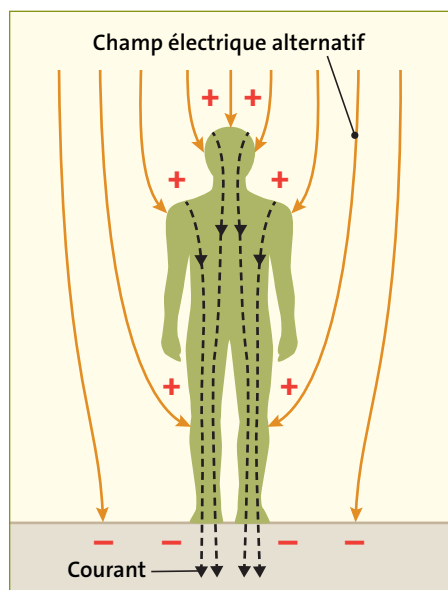


Figure 2. Création d'un courant dans le corps dû à la présence d'un champ électrique variable

Le passage d'un tel courant peut être à l'origine d'effets biologiques, comme expliqué dans la partie « Effets des champs électromagnétiques ».

Échauffement par pertes diélectriques

Le champ électrique interagit également avec les molécules polaires comme les molécules d'eau. Ces molécules ont la particularité de présenter une dissymétrie de charges et ont ainsi un pôle négatif et un pôle positif. Dans un champ électrique, de tels dipôles s'orientent selon la direction de ce champ.

Dans le cas d'un champ électrique variable dans le temps, les molécules s'orientent périodiquement dans un sens puis dans l'autre. Ce mouvement a pour effet d'échauffer la matière par friction. Plus la fréquence est élevée, plus le mouvement est rapide, rendant l'échauffement plus important. Il y a également une forte influence de l'intensité du champ. Cet échauffement peut être à l'origine d'une élévation de la température des tissus.

Interactions entre le champ magnétique et la matière

La perméabilité magnétique

Par analogie avec la permittivité pour le champ électrique, la perméabilité magnétique d'un matériau décrit la réponse de celui-ci face à un champ magnétique. Dans l'air, dont la perméabilité est proche de celle du vide, le champ magnétique externe n'est quasiment pas modifié.

Les différents tissus composant le corps humain possèdent une perméabilité proche de celle de l'air, ainsi le corps se trouve être peu perturbateur du champ magnétique (figure 3).

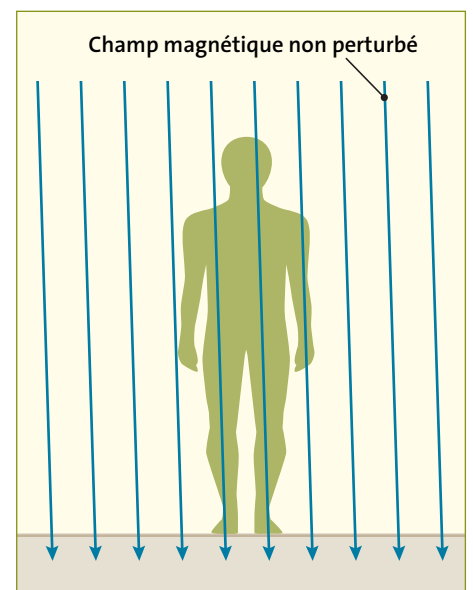


Figure 3. Absence de perturbation d'un champ magnétique en présence d'un corps

Tout comme la permittivité, la perméabilité d'un matériau dépend de la fréquence du champ magnétique.

Création d'un courant

La traversée d'un volume conducteur par un champ magnétique variable dans le temps induit un courant électrique. Comme précédemment, plus la conductivité électrique du tissu est élevée, moins celui-ci va s'opposer au passage de ce courant. Dans le cas du corps humain, faiblement conducteur, le courant créé peut être à l'origine d'effets biologiques, détaillés dans la partie suivante.

Propagation du champ électromagnétique

Lorsqu'un champ électromagnétique rencontre un tissu biologique, une partie de l'énergie est réfléchie, une partie est transmise et le reste est absorbé par le tissu (figure 4).

La profondeur de pénétration d'un rayonnement électromagnétique dans un matériau conducteur dépend des caractéristiques de

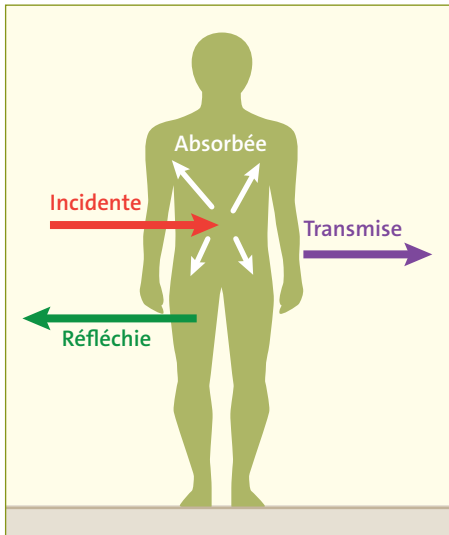


Figure 4. Propagation d'un champ électromagnétique en présence d'un corps

celui-ci et de la fréquence de l'onde. Plus la fréquence est élevée, plus la profondeur de pénétration est faible.

Dans le cas du corps humain, les ondes ayant des fréquences élevées (de l'ordre de quelques GHz) ne pénètrent pas profondément dans les tissus. Les interactions se produisent ainsi uniquement en surface.

Cas particulier de l'interaction avec un élément métallique

Des personnes exposées aux champs électromagnétiques peuvent porter des éléments métalliques, tels que des dispositifs médicaux implantables. Dans ce cas, les mécanismes d'interactions sont bien plus complexes; par exemple, une concentration des lignes de champ peut être observée, provoquant une accentuation des phénomènes physiques présentés précédemment.

Dans le cas d'un élément ferromagnétique (fer, acier...), des forces d'attraction sont susceptibles d'apparaître dans un champ statique, et l'élément peut s'orienter selon les lignes de champ montrées sur la figure 3 (« effet boussole »).

Concernant les dispositifs médicaux actifs, c'est-à-dire comportant de l'électronique, il existe également un risque de dysfonctionnement (voir fiche de l'INRS ED 4267).

EFFETS DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

En fonction du type de champ rencontré, les interactions vues précédemment sont à l'origine d'effets pouvant être classés en trois catégories: effets directs, indirects, et à long terme.

Effets à long terme

Très basses fréquences

Sur la base de plusieurs études épidémiologiques portant sur des groupes d'enfants résidant à proximité de lignes à haute tension très basse fréquence (50 Hz), le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé les champs électromagnétiques « extrêmement basses fréquences » comme possiblement cancérigènes pour l'homme (catégorie 2B). Cependant, aucun mécanisme biophysique n'a pour l'heure été identifié, comme le précise l'*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP, 2010).

Radiofréquences

Le CIRC a classé les radiofréquences en catégorie 2B sur la base d'études épidémiologiques portant sur les téléphones portables.

Globalement, les études actuelles sont insuffisantes pour conclure sur le caractère cancérigène ou non des champs électromagnétiques. La directive 2013/35/CE (transposée aux articles R. 4453-1 et suivants du Code du travail) précise donc qu'elle « ne traite pas des effets à long terme de l'exposition à des champs électromagnétiques puisqu'il n'existe actuellement pas d'éléments scientifiques probants bien établis qui permettent d'établir un lien de causalité ».

Concernant les autres effets à long terme possibles—neurologiques, cardio-vasculaires etc. —, le rapport spécifique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail (ANSES) d'octobre 2013 dresse un état des connaissances actuelles, et conclut à la nécessité d'études complémentaires.

Effets directs

Comme détaillé dans la partie précédente, les interactions sont dépendantes de la fréquence du champ appliqué. Les effets biologiques et sanitaires directs à court terme connus sont :

- les effets de stimulation électrique de tous les tissus du système nerveux central et périphérique dus aux courants induits en basses fréquences ($f < 10$ MHz);
- les effets thermiques dans les tissus provoqués par les hautes fréquences ($f \geq 100$ kHz);
- les effets dus aux courants induits dans le corps humain ($10 \text{ MHz} \leq f < 110 \text{ MHz}$).

Parmi les nombreux effets biologiques observés, certains peuvent avoir des conséquences nocives sur la santé. En basse fréquence, la stimulation des nerfs et des muscles peut entraîner des contractions musculaires et des stimulations nerveuses parasites. Les champs hautes fréquences génèrent en priorité des échauffements localisés ou une hyperthermie. À certaines fréquences et pour des niveaux d'exposition plus faible que pour les effets sur la santé, il a été observé des effets de type « sensoriels ». En champ statique, lors d'une exposition de la tête associée à des mouvements, des effets tels que vertiges, nausée ou sensation de goût métallique dans la bouche peuvent être ressentis. Entre 1 et 400 Hz, des phosphènes rétiens peuvent survenir, ainsi que des modifications mineures passagères de certaines fonctions cérébrales. Pour les champs pulsés (radar) entre 300 MHz et 6 GHz, un effet auditif (clic) peut être perçu lors de l'exposition de la tête. La figure 5 résume les effets selon la fréquence.

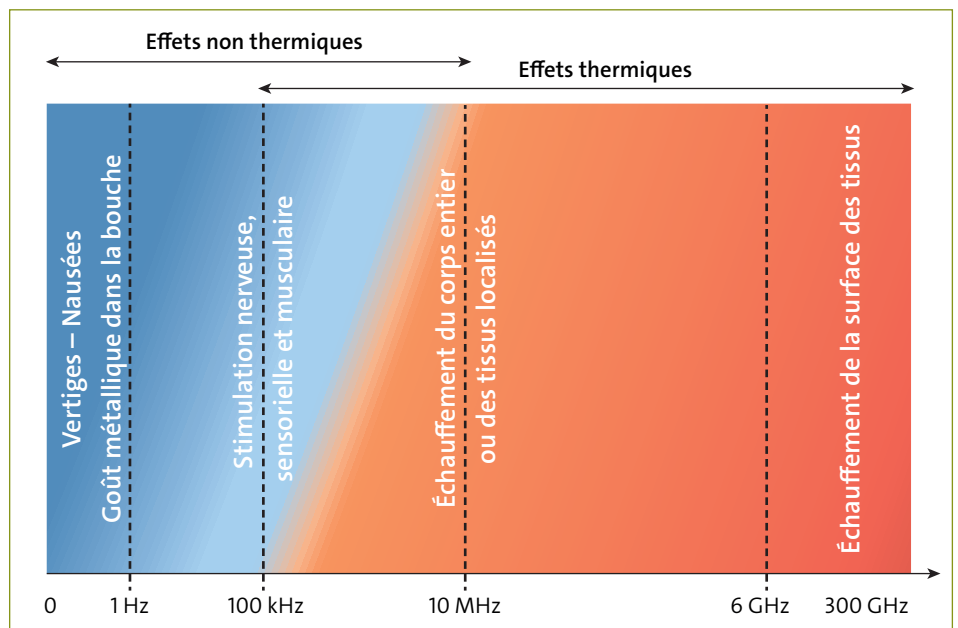


Figure 5. Effets en fonction de la fréquence, adaptée du Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE

Champ électrique interne – valeurs crêtes	Effets
4 à 6 V/m	Stimulation du système nerveux périphérique
10 V/m	Stimulation du système nerveux central
50 à 100 mV/m à 20 Hz	Phosphènes rétinien

Tableau 1. Effets des champs électriques de basses fréquences

Le tableau 1, issu de l'ICNIRP (2010), résume les effets de l'exposition aux champs électriques internes de basses fréquences en fonction de leurs intensités. Les valeurs limites d'exposition professionnelle précisées par l'article R. 4453-3 du Code du travail correspondent aux seuils d'apparition des effets sur la santé, auxquels ont été appliqués des facteurs de sécurité de 1 pour les effets sensoriels et de 5 pour les effets de stimulation des muscles et des nerfs.

Lors de l'exposition à un champ hautes fréquences, la puissance absorbée par les tissus biologiques se quantifie grâce au débit d'absorption spécifique (DAS), en W/kg. On considère que l'exposition corps entier durant 30 minutes à un champ pouvant produire un DAS de 4 W/kg entraîne un échauffement de 1 °C des tissus. De cette considération physiologique est issue la valeur limite d'exposition fixée par l'article R. 4453-3 du Code du travail, à 0,4 W/kg pour l'ensemble du corps, après application d'un coefficient de sécurité de 10.

Concernant les travailleuses enceintes, la réglementation impose une exposition la plus faible possible, sans dépasser les valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques définies par le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002.

Effets indirects

Les champs électromagnétiques peuvent être à l'origine d'effets indirects susceptibles de provoquer des dommages sur l'homme ou d'aggraver une situation de travail dangereuse.

En champ statique, on s'intéressera en priorité aux forces d'attraction et de rotation pouvant s'exercer sur des objets ferromagnétiques, soit portés par le travailleur (dispositifs médicaux implantés ou non, bijoux...), soit placés dans son environnement de travail (outillages, machines...). Ces forces peuvent générer des déplacements, voire des projections, de ces éléments métalliques.

De même, des chocs électriques voire des brûlures peuvent être causés lors du contact avec un objet conducteur soumis à un champ électromagnétique, lorsque le travailleur ou l'objet en question n'est pas relié à la terre. Ces chocs et brûlures sont dus aux courants de contacts, dont les valeurs déclenchant l'action sont fonction de la fréquence d'émission.

Concernant la compatibilité électromagnétique des dispositifs électroniques, des risques de dysfonctionnement peuvent apparaître au-delà des seuils d'immunité, notamment dans le cas des dispositifs médicaux actifs implantés ou non (voir fiche de l'INRS ED 4267).

D'autres effets indirects peuvent exister, tel que le déclenchement inopiné de détecteurs, ou encore le feu ou l'explosion de matières chimiques ou de poussières.

On trouvera une liste détaillée des effets indirects dans le chapitre 2.3 du premier volume du *Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE*.

POUR ALLER PLUS LOIN

■ *Lignes directrices pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (fréquences de 1 Hz à 100 kHz)*, INRS, PR 47.

■ *Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Champs alternatifs (de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz)*, INRS, ND 2143.

■ Articles R. 4453-1 et suivants du Code du travail consultables sur : www.legifrance.gouv.fr.

■ *Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE*, vol. 1 et vol. 2.

■ Rapport ANSES, *Radiofréquences et santé*, mise à jour de l'expertise, octobre 2013.

■ Fiches de la collection « champs électromagnétiques », INRS, ED 4200 à 4219, ED 4266, ED 4267.

■ *Lignes directrices relatives aux limites d'exposition aux champs magnétiques statiques*, INRS, PR 43.

Référents : Groupe RNI Carsat-Cramif/INRS

C. Bissériex, Carsat Auvergne ■ P. Laurent, Carsat Centre-Ouest ■ A. Deleau, Carsat Languedoc-Roussillon ■ J. Fortuné, Carsat Centre ■ L. Hainoz, Cram Île-de-France ■ G. Le Berre, Carsat Bretagne ■ S. Tirlemont, Carsat Nord-Picardie ■ N. Morais, Carsat Midi-Pyrénées ■ B. Gallin, Carsat Nord-Est ■ M. Bouldi, A. Bourdieu, M. Donati, L. Hammen, P. Moureaux, INRS

Contacts : L. Hammen, INRS

M. Bouldi, INRS

Services Prévention des Carsat, Cramif et CGSS