



## Les mécanismes d'interaction avec le corps humain

Lorsqu'une entité biologique est soumise à des champs électromagnétiques, une interaction se produit avec les charges électriques du tissu ou de la cellule. Le résultat de l'interaction peut produire un effet biologique.

La complexité des phénomènes posés tient à de multiples facteurs, en particulier la diversité des paramètres physiques indépendants : la fréquence, la puissance et la modulation des champs électromagnétiques.

L'objectif de cette fiche est d'analyser les mécanismes d'interaction dont découlent les effets sur l'homme.

### MÉCANISMES DIRECTS

#### Champs magnétiques et électriques statiques

##### Induction magnétique (ou effets sur les ions)

Les champs magnétiques statiques produisent, par effet de forces de Lorentz sur les porteurs de charges ioniques ou électrolytes en mouvement (dans le sang circulant par exemple), des courants électriques induits. Des courants induits peuvent apparaître aussi lorsque le sujet se déplace dans le champ statique.

L'effet biologique résultant serait un ralentissement de la circulation sanguine et une élévation de la tension artérielle.

#### Orientation magnétique

Dans un champ magnétique statique uniforme, les molécules constituant la matière sont soumises à un couple qui tend à les orienter selon une configuration minimisant leur énergie libre au sein du champ. Ce type de molécules se retrouve dans les photopigments de la membrane extérieure des bâtonnets rétiens et les hématies (globules rouges) falciformes désoxygénés.

L'effet sensoriel caractéristique de l'interaction avec la rétine est la production de sensations visuelles dites « phosphènes ». Il s'agit d'impressions lumineuses semblables à celles qui peuvent être obtenues par une légère compression des globes oculaires.

### Interactions électroniques avec un champ magnétique

Les mouvements des électrons des atomes et leurs énergies sont affectés par la présence d'un champ magnétique statique. L'orientation de leurs orbites autour du noyau et leurs énergies sur leurs orbites sont modifiées.

Cette interaction peut avoir des conséquences dans le cas de certaines réactions chimiques faisant intervenir les états intermédiaires des électrons des radicaux.

### Répartition des charges électriques

Lorsqu'un corps ou un objet conducteur est situé dans un champ électrique statique, il se produit une migration des charges à la périphérie de ce corps tendant à équilibrer les forces électrostatiques du champ incident.

La répartition de charges ainsi que leur signe dépendent de la forme de l'objet et des lignes de force du champ électrique (voir figures 6a et 6b).

Lorsque le champ électrique atteint une certaine valeur, il entraîne une ionisation de l'air qui devient conducteur. Ce phénomène entraîne un courant de décharge entre le corps isolé et un autre corps dont le potentiel est différent de la terre. Habituellement ces courants de décharge surviennent pour des intensités de champs électriques de l'ordre de 500 à 1200 kV/m (décharge électro-statique).

### Champs électromagnétiques basses fréquences (jusqu'à 100 kHz)

L'exposition aux champs électriques ou magnétiques basses fréquences n'entraîne

généralement qu'une absorption d'énergie négligeable et aucune élévation de température significative.

### Couplage des champs électriques avec le corps humain

L'interaction des champs électriques avec le corps humain provoque :

- un écoulement de charges électriques (courant électrique),
- une polarisation des charges liées (formation de dipôles électriques),
- une réorientation des dipôles électriques déjà présents dans les tissus.

L'importance relative de ces différents effets dépend des propriétés électriques du corps (conductivité et permittivité).

Les champs électriques externes induisent à la surface du corps exposé une charge superficielle qui provoque à l'intérieur du corps des courants dont la distribution dépend des conditions d'exposition, de la taille et de la forme du corps, ainsi que de la position du corps dans le champ.

Dans l'organisme, des phénomènes électriques assurent physiologiquement des fonctions de commande ou de régulation des cellules ou des tissus. Toutes les cellules sont polarisées et des variations de leur potentiel membranaire déterminent leur activité. L'induction de courants par des champs extérieurs peut donc, a priori, exercer une action, en particulier sur les systèmes de transmission ou de transduction des informations, comme les canaux ioniques commandés par tension, dispositifs électrosensibles présents dans toutes les cellules excitables (système nerveux, muscles...).

L'effet le plus facilement constaté est la perception du champ électrique du fait de la vibration des poils provoqués par la charge électrique à partir d'un niveau compris entre 5 et 10 kV/m, avec des variations individuelles.

### Couplage des champs magnétiques avec le corps humain

L'interaction des champs magnétiques avec le corps humain crée des champs électriques induits et provoque la circulation de courants électriques.

Les champs magnétiques ne donnent pas naissance à une perception sensorielle, et c'est seulement à de très fortes valeurs de champs (plusieurs teslas) que l'on peut noter des symptômes chez les personnes exposées. Les effets observés (nausées, maux de tête...) résultent d'une interaction avec l'appareil vestibulaire (canaux semi-circulaires).

Les neurones très superficiels tels que ceux des aires motrices, sont stimulables par des variations importantes de champs (plusieurs dizaines de teslas par seconde). C'est également le cas pour les nerfs périphériques ou les muscles.

### Mécanismes d'interaction des champs électromagnétiques hautes fréquences (100 kHz à 300 GHz)

#### Effet thermique

Il existe un seul mécanisme d'interaction connu et expérimentalement validé des champs électromagnétiques hautes fréquences avec les organismes biologiques : c'est la conversion dans les tissus de l'énergie électromagnétique en chaleur, appelée en physique « relaxation diélectrique ».

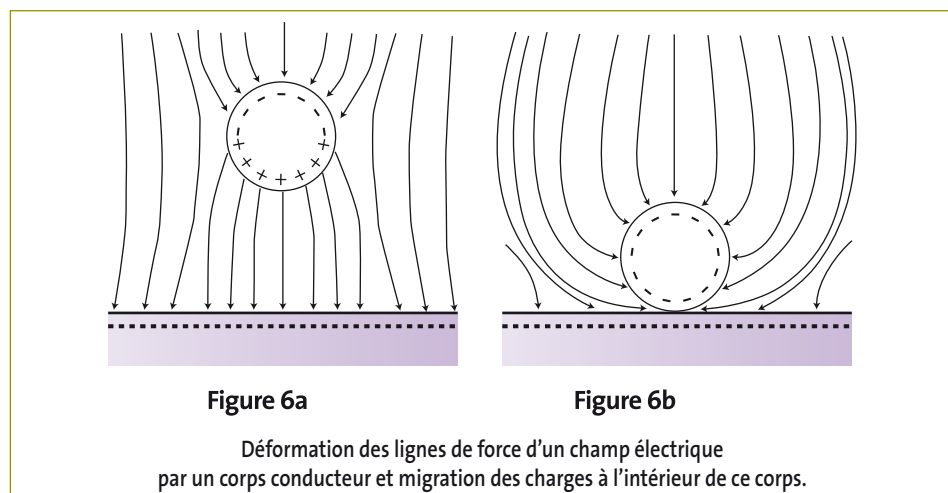
Sous l'effet des champs électromagnétiques radiofréquences, les molécules biologiques polarisées transforment l'énergie électromagnétique du rayonnement en énergie mécanique. Les forces de frottement avec les molécules avoisinantes, liées à la viscosité du milieu, transforment cette énergie mécanique en chaleur dans les tissus biologiques.

L'absorption d'énergie est différente selon :

- sa localisation dans le corps (tête, cou, membres),
- la fréquence du champ électromagnétique : plus la fréquence est élevée, plus l'absorption est superficielle.

La conséquence peut être une élévation de la température corporelle. À partir d'une augmentation de 1 °C, on peut observer une modification comportementale et plus précisément une perturbation de l'apprentissage.

Pour des expositions plus importantes (DAS > 4 W/kg)<sup>1</sup>, la capacité de thermorégulation de l'organisme humain est dépassée, ce qui produit une élévation excessive de la température corporelle. Lorsque l'exposition est localisée, des brûlures peuvent se produire.



1. Le DAS (débit d'absorption spécifique) est une mesure de la puissance des ondes radiofréquences absorbée par unité de masse (autrement dit, le corps humain). Il s'exprime en watts par kilogramme (W/kg).

C'est pourquoi les effets observés avec les champs hautes fréquences sont dits « thermiques ».

## Autres interactions

D'autres effets ont pu être observés, tels que le « click » micro-onde. Ce phénomène est lié à une expansion thermoélastique du tissu cérébral sous l'effet des micro-ondes. L'énergie absorbée convertie en chaleur produit une petite élévation de température détectée par les cellules de l'oreille interne (cochlée).

Dans le cadre de l'expérimentation, les études concernant les propriétés fonctionnelles des cellules (transport d'ions, expression des gènes, synthèse des protéines et prolifération) ont été nombreuses et les résultats positifs publiés sur la modification membranaire n'ont pas été répliqués à ce jour.

Des incertitudes subsistent sur les effets athermiques qui pourraient résulter d'une exposition prolongée à de faibles niveaux, notamment sur les systèmes nerveux, endocrinien ou immunitaire.

Le consensus actuel est en faveur d'une absence d'effet mutagène des champs hautes fréquences de faible intensité. Ils ne semblent pas favoriser l'initiation du cancer.

Leur action comme promoteur (favorisant la multiplication d'une cellule mutée) ou copromoteur reste à infirmer ou à confirmer.

Une augmentation de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique, qui isole le cerveau des substances toxiques, sous l'effet de radiofréquences modulées ou continues, a été rapportée par deux équipes scientifiques, tandis que d'autres n'ont constaté aucune différence.

## MÉCANISMES INDIRECTS

### Champs magnétiques statiques

Les champs magnétiques statiques exercent sur les matériaux paramagnétiques et ferromagnétiques une force à l'origine d'un mouvement de translation : il s'agit de la translation magnétomécanique.

Dans la matière paramagnétique, les moments magnétiques sont en général orientés aléatoirement, leur résultante est nulle. Cependant, si on applique un champ magnétique extérieur, les moments magnétiques s'orientent : il apparaît alors un champ magnétique induit qui renforce le champ magnétique extérieur. Ce phénomène d'aimantation disparaît souvent dès qu'on cesse

d'appliquer un champ magnétique extérieur. Dans ce cas, l'aimantation est faible.

Pour les matériaux ferromagnétiques, l'aimantation est très importante et persiste en l'absence du champ magnétique extérieur. Les forces mises en jeu peuvent être à l'origine d'accidents ou d'incidents (projections d'objets métalliques, microdéplacements d'implants passifs ferromagnétiques tels que clips vasculaires, agrafes intracrânielles et digestives, prothèses dentaires mobiles).

### Champs électriques et magnétiques variables

■ Les courants de contact : ils résultent du contact du corps humain avec un objet se trouvant à un potentiel électrique différent. Lorsqu'un champ électromagnétique charge électriquement un objet conducteur, cela provoque un passage de courants électriques à travers le corps de la personne en contact avec cet objet.

■ Dysfonctionnement de matériel électronique : les champs électromagnétiques peuvent interférer avec certains appareils médicaux implantés tels que les stimulateurs cardiaques, défibrillateurs...

■ Échauffement possible d'implants passifs métalliques.

## POUR EN SAVOIR PLUS

■ Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques, *Hygiène et sécurité du travail*, Cahiers de notes documentaires, ND 2143, 2001.

■ Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs magnétiques statiques, *Hygiène et sécurité du travail*, Cahiers de notes documentaires, ND 2184, 2003.

■ Élaboration d'une stratégie d'évaluation des risques pour la santé liés aux champs électromagnétiques, *Les notes scientifiques et techniques de l'INRS*, NST 186, 2000.

■ Projet « Communications mobiles et biologie » (COMOBIO), ayant pour objectifs la contribution ciblée et significative d'équipes françaises à l'étude des effets

sanitaires potentiels des téléphones mobiles, la contribution à l'effort de recherche coordonné par l'OMS. Le programme est soutenu par le Réseau national de recherches en télécommunications (RNRT), financé par les ministères en charge de la Recherche et de l'Industrie, mai 1999 à fin 2002.

■ Directive 2004/40/CE du Parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques).

■ Fiches « Champs électromagnétiques » de l'INRS :  
– *Téléphones mobiles et stations de base*, ED 4200, 2004.

– *Généralités sur les rayonnements non ionisants jusqu'à 300 GHz*, ED 4201, 2005.

– *Les sources des rayonnements non ionisants (jusqu'à 60 GHz)*, ED 4202, 2004.

– *Les effets des rayonnements non ionisants sur l'homme*, ED 4203, 2005.

– *La réglementation en milieu professionnel*, ED 4204, 2005.

– *Les machines utilisant le chauffage par pertes diélectriques*, ED 4205, 2004.

– *Les stimulateurs cardiaques*, ED 4206, 2004.

– *Les écrans de visualisation*, ED 4208, 2006.

– *L'imagerie par résonance magnétique*, ED 4209, 2006.

– *Les lignes à haute tension et les transformateurs*, ED 4210, 2008.

Auteurs : Groupe RNI CRAM/INRS, Ch. Bissériex, CRAM Auvergne – P. Laurent, CRAM Centre-Ouest – Ph. Cabaret, CRAM Languedoc-Roussillon – Ch. Bonnet, CRAM Centre – E. Marteau et Ch. Masson, CRAM Ile-de-France – G. Le Berre, CRAM Bretagne – A. Becker, Ph. Demaret, J. Herrault, P. Donati, et R. Klein, INRS Lorraine – J.-P. Servent et Y. Ganem, INRS Paris

Contacts : Ph. Demaret, INRS : 03 83 50 85 32 – J.-P. Servent, INRS : 01 40 44 31 09 – Service prévention CRAM



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00 • Fax 01 40 44 30 99 • Internet : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • e-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)