

Médecine et risque au travail

Guide du médecin en milieu de travail

Pierre Catilina

2^e édition

2009



 MASSON

d'obligation réglementaire à changer l'affectation de celle-ci. En cas de maintien au poste, la dosimétrie opérationnelle permet de renseigner en temps réel les doses éventuellement reçues.

Les antécédents de cancer ne constituent pas, *a priori*, un motif d'inaptitude.

Formation et information des salariés

L'employeur est tenu d'organiser en liaison avec le CHSCT, la formation à la radioprotection des travailleurs exposés et doit remettre à tout travailleur affecté de manière régulière ou occasionnelle en zone contrôlée une notice écrite l'informant des dangers et des précautions à prendre. Il doit porter à la connaissance des travailleurs le nom du médecin du travail et de la personne compétente en radioprotection.

De même, il doit, ainsi que le médecin du travail, informer les femmes des risques encourus

en cas de grossesse s'il y a dépassement des limites les concernant et de leur intérêt de déclarer toute grossesse débutante. L'employeur doit également rappeler aux femmes les dispositions de l'article L. 1225-7 du Code du travail concernant la protection des femmes enceintes.

La personne compétente en radioprotection participe à la formation à la sécurité des travailleurs. Enfin, la visite médicale est le moment privilégié pour renouveler l'information des travailleurs.

Bibliographie

- Gambini DJ, Granier R. Manuel pratique de radioprotection. 3^e éd. Collection Technique et documentation. Paris : Lavoisier ; 2007, 666 p.
- Lallemand J. Effets tératogènes des rayonnements ionisants. Le Concours Médical 1996 ; suppl. n° 36.
- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR). Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York : United Nations, 1993.

Affections liées aux champs produits par des rayonnements électromagnétiques⁶

Définition de la nuisance

Qu'il s'agisse de lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique, d'appareils électroménagers ou de diverses machines industrielles, toute installation électrique peut créer dans son voisinage, selon les cas, champs électriques, magnétiques ou électromagnétiques résultant, pour ces derniers, de la combinaison indissociable d'un champ électrique et d'un champ magnétique se propageant dans l'espace sous forme d'ondes dites électromagnétiques. Tous ces champs sont caractérisés par leur fréquence (exprimée en hertz : Hz), leur longueur d'onde (en mètre : m), les valeurs du champ électrique E (en volt par mètre : V/m) et du champ magnétique H (en ampère

par mètre : A/m), ainsi que par la densité de flux magnétique (en tesla : T).

Caractérisation de la nuisance

Lorsqu'un champ, quelles qu'en soient la nature et l'origine, rencontre un matériau, physique ou biologique, les interactions dépendent de plusieurs facteurs, notamment, pour les radiofréquences, du rapport entre sa longueur d'onde et la taille de l'objet rencontré. Ainsi, ces interactions ne sont pas les mêmes, pour une fréquence identique, avec un animal de type rat ou souris et avec un être humain. Interviennent également les caractéristiques électriques de l'objet (par exemple sa conductivité). En outre, le champ auquel est soumis cet objet diminue en fonction de sa distance à la source. En basses fréquences, le champ

⁶ Y. Ganem, J.-P. Servent.

électrique peut être facilement atténué par des obstacles, alors que le champ magnétique passe à travers la majorité des matériaux. En hautes fréquences, les champs électrique et magnétique sont indissociables : si le champ électrique est atténué, le champ magnétique l'est aussi.

Secteurs d'utilisation

Les rayonnements non ionisants de très basses fréquences, ELF (*extremely low frequency*), sont présents autour des lignes de transport d'énergie électrique, des transformateurs, des alternateurs, des matériels électriques, des équipements de soudage à l'arc et par résistance...

Les radiofréquences (RF) et hyperfréquences (HF, jusqu'à 300 GHz - à ne pas confondre avec l'utilisation « haute fréquence » de ce sigle par les physiiciens pour les radiofréquences de 3 à 30 MHz) sont utilisées dans le chauffage thermique par induction et par effet diélectrique, les systèmes d'identification, les fours industriels à micro-ondes, les radars, les télécommunications y compris la téléphonie mobile... Les secteurs scientifique et médical sont également impliqués : résonance magnétique nucléaire (en chimie et biologie), imagerie par résonance magnétique (en diagnostic médical), physiothérapie, par exemple.

Propriétés pathogènes

La complexité des phénomènes posés tient à de multiples facteurs, en particulier la diversité des paramètres physiques indépendants : la fréquence, la puissance, la modulation... Lequel d'entre eux

joue le rôle prépondérant? Par quel mécanisme ces champs agissent ils alors sur la santé?

Effets aigus

Certaines nuisances sont scientifiquement reconnues et prises en compte par les normes, ainsi :

- la perception désagréable de *charges électriques* au niveau des poils et des cheveux, pour les champs électriques statiques ;
- les effets des *courants électriques induits* dans le corps humain, pour les basses fréquences (picotements, décharges électriques...) (tableau 8.26),
- les *réactions humaines liées aux courants de contact* indirectement créés par l'intermédiaire d'une masse métallique (lâcher prise) (tableau 8.27) ;
- les *effets thermiques*, pour les hautes fréquences. Le seuil physiologique correspondant à un effet thermique corps entier correspond à un débit d'absorption spécifique (DAS) corps entier de 4 W/kg.

Tableau 8.26
Effets dus aux courants induits en fonction de leur densité

Valeur efficace de la densité de courant induit (mA/m ²)	Effets
> 1000	Fibrillation
100-1000	Stimulation des tissus excitable
10-100	Effets visuels et nerveux, soudure des os
< 10	Pas d'effet connu sur la santé

Tableau 8.27
Seuils physiologiques correspondants aux effets des courants de contact

Effet	Courant seuil (mA) à la fréquence			
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz	1 MHz
Sensation tactile	0,2-0,4	0,4-0,8	25-40	25-40
Sensation douloureuse au contact avec le doigt	0,9-1,8	1,6-3,3	33-55	28-50
Choc douloureux/seuil de relaxation musculaire	8-16	12-24	112-224	Non déterminé
Choc sévère/difficulté à respirer	12-23	21-41	160-320	Non déterminé

Afin de prévenir d'éventuels phénomènes, tels que stimulations nerveuses parasites ou troubles du rythme cardiaque, qui pourraient être provoqués par des expositions de courte durée à de fortes intensités de champs magnétiques statiques ou de basses fréquences, on applique un facteur de sécurité de 10 aux valeurs en dessous desquelles aucun effet nocif réversible n'a été observé. On procède de même pour les effets thermiques, en considérant qu'une puissance de 4 W/kg absorbée par le corps entier entraînerait une élévation de l'ordre de 1 °C de la température corporelle. Toutefois, dans le cas des effets thermiques, il s'agit généralement d'une exposition accidentelle, souvent brève, aux radiofréquences ou aux hyperfréquences, qui provoque une hyperthermie localisée. Il est difficile de connaître précisément la répartition énergétique à l'intérieur du corps et l'éventuelle existence de points chauds où l'élévation thermique aurait été suffisamment importante pour entraîner une coagulation des protéines, c'est-à-dire une nécrose tissulaire interne dont l'expression clinique peut être retardée.

En cas d'accident d'exposition aux RF et HF, outre le traitement immédiat des lésions et l'étude biophysique des circonstances de l'accident, il convient de mettre l'accidenté sous surveillance pendant une quinzaine de jours, certaines lésions profondes pouvant ne s'extérioriser cliniquement qu'après un certain délai.

Si il apparaît localement douleurs, inflammation ou œdème, des examens complémentaires adaptés à la région exposée doivent être pratiqués : radiographies, échographies, scanner... On peut observer, après une exposition céphalique, une période transitoire d'euphorie suivie d'apathie, voire d'un syndrome dépressif. Si l'examen met de plus en évidence céphalées, troubles du sommeil, du caractère ou découvre des signes neurologiques, il convient de demander une scintigraphie cérébrale afin de préciser l'importance de la zone atteinte et d'en suivre l'évolution. Si des perturbations du cycle menstruel, des signes d'hypo/hyperthyroïdie apparaissent dans les semaines qui suivent, les dosages hormonaux adéquats doivent être demandés.

Exposition chronique ou répétée

Une telle exposition à ces fréquences peut être à l'origine de troubles fonctionnels, paradoxale-

ment dénommés « spécifiques », évoquant un syndrome neurovégétatif, tels que : asthénie physique et musculaire, voire myalgies; asthénie psychique, perte de mémoire ou apathie contrastant avec une irritabilité anormale; insomnie; céphalées, souvent pulsatiles; sensation ébrieuse, vertiges ou lipothymies, avec parfois nausées; poussées fébriles inexpliquées, frissons, crises sudorales; sensations dysesthésiques des extrémités; anorexie et amaigrissement inexpliqués.

Les RF et HF peuvent interférer sur l'évolution de dysendocrinies et dystonies neurovégétatives préexistantes. Certaines personnes exposées se plaignent de divers symptômes (angoisse, palpitations, « hypersensibilité »...) non pathognomoniques et toujours régressifs pour lesquels il est souvent très difficile d'affirmer le rôle de l'exposition professionnelle, même après une étude de poste approfondie. Il convient alors, selon les circonstances, de réduire ou limiter l'exposition et d'assurer une information claire et circonstanciée.

Les organes des sens ne semblent pas faire l'objet d'atteintes particulières, si ce n'est le « click » auditif propre aux hyperfréquences, en rapport avec une expansion thermo-élastique rapide du tissu cérébral se propageant jusqu'à la cochlée. Une action sur le cristallin, évoquée expérimentalement, ne semble pas retrouvée dans la pratique; il paraît néanmoins souhaitable d'effectuer une surveillance plus assidue avec examen à la lampe à fente chez les sujets pouvant présenter des anomalies cristalliniennes. En ce qui concerne plus particulièrement les ELF, il a été décrit la perception visuelle de taches lumineuses (magnétosphènes) chez des sujets soumis à un champ magnétique variable.

Effets à long terme

Des effets à long terme sur la santé, plus particulièrement au sujet des champs des lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique ou des radiotéléphones, font encore l'objet de controverses :

- existe-t-il un effet déclenchant ou favorisant l'apparition ou le développement du cancer? *classement OHS-GAC possible carcinogène*
- existe-t-il des effets moindres mais susceptibles d'altérer la santé sur le système endocrinien, nerveux ou immunitaire...? *2 B en juillet 2011*

Expérimentalement

Les expérimentations réalisées sur l'animal ont permis d'écarter l'hypothèse d'un effet des champs sur la première phase (initiation) de la cancérogenèse. Reste à infirmer ou confirmer leur action comme promoteur (favorisant la multiplication d'une cellule mutée) ou, ce qui est plus vraisemblable, comme co-promoteur (associé avec un autre facteur favorisant la multiplication d'une cellule mutée).

Les expérimentations sur cellules en culture ne permettent pas toujours de rapporter les réactions biochimiques constatées à des mécanismes plausibles cohérents avec les effets observés chez l'animal ou chez l'homme.

Par ailleurs, la notion de dose, habituelle en toxicologie ou en radioprotection, n'est pas toujours applicable en bio-électromagnétisme : il a été montré l'existence de « fenêtres » de fréquences ou d'intensités dans lesquelles se produisent des effets particuliers. L'exemple type d'effet fenêtre est celui de la vision, qui n'est possible que dans une plage précise de longueurs d'onde au sein de l'ensemble plus vaste des rayonnements optiques dont le spectre s'étend des infrarouges aux ultraviolets.

Chez l'homme

Pour l'instant, il n'y a pas de certitude sur l'association entre une exposition professionnelle aux champs électromagnétiques et la survenue d'un cancer, notamment du cerveau ou d'une leucémie, pas plus qu'entre l'exposition environnementale aux champs des lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique et les leucémies de l'enfant. Le risque relatif statistique, stable depuis une dizaine d'années en dépit de méthodologies de plus en plus performantes, se situe toutefois légèrement au dessus de l'unité pour les ELF (50-60 Hz). En ce qui concerne l'utilisation de radiotéléphones cellulaires, compte tenu de certaines données de l'expérimentation animale, un risque de co-promotion ne peut pas être encore totalement exclu dans certaines conditions très particulières.

A noter

Il convient de rappeler qu'à l'heure actuelle le danger le plus avéré des radiotéléphones

demeure celui de l'accident de la route, lié au détournement d'attention du conducteur et ce, même avec un dispositif « mains libres ». Par ailleurs, il existe des consignes d'interdiction d'usage de ceux-ci au décollage et à l'atterrissage des avions, dans les hôpitaux et là où il y a des interférences possibles sur des matériels électroniques, ainsi que dans les lieux à risque d'incendie ou d'explosion.

Cas particulier des porteurs d'implants

Le risque le plus patent reste celui de l'influence électromagnétique sur les implants actifs, surtout cardiaques, bien qu'il ait été principalement observé dans des conditions où le stimulateur cardiaque n'était pas implanté (essais *in vitro*) et qu'il soit minime en situation normale d'utilisation pour les appareils de technologie récente, d'autant qu'il peut être aisément prévenu par éloignement de la zone d'implantation.

Il convient aussi de mentionner la possibilité de désagréments pour les porteurs d'implants passifs métalliques (phénomènes dysesthésiques locaux), ainsi que l'éventualité de déplacements de certains implants ferromagnétiques sous l'effet de champs magnétiques intenses, c'est-à-dire au-delà de 3 mT.

Préconisations relatives aux niveaux d'exposition

Elles sont établies sur la base de deux grandeurs qui jouent un rôle particulier :

- pour les champs de fréquence inférieure à 10 MHz (basses fréquences), la densité de courant induit par le champ électromagnétique au sein du corps humain ;
- pour les champs de fréquence supérieure à 100 kHz, le débit d'absorption spécifique qui mesure l'accumulation d'énergie durant un certain temps et par kilogramme de tissu biologique.

La délimitation n'est en fait pas aussi nette entre les deux phénomènes et il existe entre 100 kHz et 10 MHz une zone où les deux interviennent simultanément.

Les recommandations de l'ICNIRP sont la référence en la matière. Elles spécifient les restrictions de base au-delà desquelles il y a probabilité de nuisance et les niveaux de références dérivés mesurables extérieurement. Ces limites sont fonction de la fréquence et sont données pour les grandeurs pertinentes aux fréquences considérées. Elles tiennent compte des expositions du corps humain, en tout ou partie, et adoptent des valeurs différentes pour le grand public et pour les milieux professionnels. Elles ne concernent que les effets bien établis et scientifiquement reconnus, c'est-à-dire les effets aigus des champs électromagnétiques. Sont exclus tous les effets dits spécifiques et chroniques. Elles excluent également, par principe, l'application des champs électromagnétiques dans un cadre thérapeutique et tous les phénomènes liés aux implants actifs ou passifs.

Si les niveaux de référence sont dépassés, il y a lieu de faire intervenir une modélisation du corps humain pour s'assurer que les restrictions de base sont respectées.

Pour le moment, il n'existe pas de réglementation française spécifique concernant l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques. Il est recommandé de respecter dès à présent les préconisations de la directive européenne 2004/40/CE publiée en 2004 et dont la date de transposition, initialement prévue au 30/04/2008, a été reportée au 30/04/2012 par la directive 2008/4/CE. Le délai ainsi octroyé sera utilisé pour réaliser une étude d'impact de la directive 2004/40/CE. Des modifications substantielles des niveaux de référence et des valeurs limites sont susceptibles de résulter de nouvelles recommandations de l'ICNIRP et de l'OMS qui seront publiées d'ici là.

En outre, la recommandation européenne pour le public (1999/519/CE) a donné lieu en France à la publication du décret n° 2002-775 applicable aux expositions qui résultent des applications de télécommunication et de radiocommunication.

La directive énonce les prescriptions minimales de sécurité, basées sur les effets à court terme, en ce qui concerne l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques. Elle reprend les recommandations de limitation de l'*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP, cf. les documents INRS ND 2143 et ND 2184) en les associant aux principes de

prévention des risques en milieu de travail énoncés dans la directive cadre 89/391/CEE.

Outre le système de limitation, elle introduit la responsabilité de l'employeur et la surveillance médicale des travailleurs exposés.

Prévention

On a pu constater une diminution notable, en l'espace de vingt ans, des niveaux d'exposition des personnels ainsi que des valeurs de fuite des équipements à l'origine des rayonnements. Aujourd'hui, la quasi-totalité des machines respecte les recommandations en vigueur en ce qui concerne l'exposition des salariés et la compatibilité électromagnétique. Cependant, parmi les professions sujettes à des expositions répétées, certaines font l'objet de préoccupations particulières comme les soudeurs qui utilisent des courants d'intensité importante sous basse tension. De ce fait, leur corps est soumis à des courants induits non négligeables.

Dans l'immédiat, en dépit des incertitudes qui constituent une source de difficultés certaine pour les gestionnaires des entreprises ainsi que pour leurs conseillers et qui pourraient, de surcroît, inciter à l'usage de dispositifs inadaptés ou d'efficacité non démontrée, quelques recommandations pratiques peuvent être formulées à l'intention du médecin du travail pour la protection des salariés :

- appliquer le principe « d'évitement prudent », par exemple pour la femme enceinte. Le même principe peut être appliqué quant à la réexposition de cancéreux traités à des champs électromagnétiques du fait de leur rôle éventuel de cofacteur ;
- en cas de symptômes cliniques, rechercher et tenter d'éliminer d'autres causes plus vraisemblables ;
- agir sur les autres facteurs d'environnement professionnel (ergonomique, organisationnel, psychosocial) afin de réduire le stress et d'améliorer la communication ;
- expliquer aux salariés les informations transmises par l'employeur, concernant les expositions

éventuelles et les mesures prises en application des dispositions réglementaires et normatives en usage;

- au vu de ces mesures, se tenir informé des risques possibles des champs électromagnétiques, plus particulièrement pour les porteurs d'implants actifs. En particulier, il y a lieu de prévenir les porteurs de stimulateur cardiaque qu'ils n'approchent pas leur téléphone à moins de 15 cm de leur poitrine, même en position de veille, et qu'ils ne l'utilisent que sur l'oreille controlatérale au côté d'implantation du stimulateur. Ils peuvent éventuellement faire tester ce risque d'interférence dans un service de cardiologie;
- faire mesurer, par un personnel compétent, les champs et vérifier que les niveaux de référence ne sont pas dépassés. À défaut, mettre en place, lorsque cela est possible, les protections adéquates (écrans et, à défaut de protection collective toujours préférable, vêtements et lunettes) si l'émission ne peut pas être réduite.

L'exposition du salarié à son poste de travail est évaluée, les valeurs sont comparées aux niveaux de référence. La quantification des champs, en présence et en l'absence du personnel, doit être étendue à l'environnement proche des postes de

travail, surtout dans les allées de circulation, afin de déterminer s'il y a présence ou non de champs et de prévenir tout risque pour les salariés ou les visiteurs qui seraient éventuellement équipés d'un implant actif. Il doit être établi un balisage autour de la zone de champ ou d'émission de façon à signaler l'aire où une exposition est possible. Des pictogrammes réglementaires de signalisation doivent être apposés conformément à l'arrêté ministériel du 4/11/1993.

Bibliographie

- De Sèze R. Élaboration d'une stratégie d'évaluation des risques pour la santé liés aux champs électromagnétiques. Notes scientifique et technique 186. INRS, Paris, 2000.
- Gagny C, Prieur G. Stimulateurs cardiaques. Perturbations électromagnétiques en milieu professionnel. Cahier de notes documentaires 1996; 162 : 55-64.
- Guide ICNIRP 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). Cahier de notes documentaires 2001; 182 : 19-47.
- Institut national de recherche et de sécurité - www.inrs.fr
- Organisation mondiale de la santé - www.who.int/topics/electromagnetic_fields/en

Affections liées aux rayonnements émis par les lasers⁷

Définition de la nuisance

Le laser (*light amplification by stimulated emission of radiation* ou amplification de lumière par émission stimulée) est une source de rayonnements optiques émettant à une longueur d'onde définie, le plus souvent dans le domaine des rayonnements optiques (UV, visible ou IR), un faisceau de rayonnement monochromatique et cohérent (les ondes qui constituent le faisceau sont en phase).

Pour générer l'émission, il faut exciter correctement un milieu actif contenant des atomes, des ions ou des molécules dans des conditions telles qu'ils puissent libérer de l'énergie lumineuse simultanément. Cette émission nécessite plusieurs aller-retour de la lumière dans une cavité résonante avant la sortie d'un rayonnement monochromatique et cohérent à travers un orifice de la cavité. L'excitation, appelée « pompage », peut se faire sous différentes formes : pompage électrique (décharge électrique dans un gaz avec excitation électronique), pompage optique (tube à éclairs), pompage chimique (réaction chimique entre deux substances). Le milieu actif, placé entre deux miroirs, doit

7 J. P. Servent.