

56

Données d'exposition aux champs électromagnétiques

Nous ne disposons d'aucune donnée fiable des niveaux d'exposition de la population générale aux champs électromagnétiques dus aux rayonnements non ionisants, en particulier en ce qui concerne les champs dus aux ELF (*extremely low frequency*), mais aussi ceux liés aux radiofréquences.

Une des seules informations disponibles est le nombre d'utilisateurs de téléphone mobile (près de 49 millions d'utilisateurs, source Afom, 2006).

L'Agence nationale des fréquences (ANFR) développe des expertises sur l'exposition du public aux champs électromagnétiques. L'Agence gère depuis 2001 une base de données de référence qui rassemble les milliers de mesures de rayonnement radioélectrique effectuées par des laboratoires accrédités. Il s'agit de mesures ponctuelles sur site et non de mesures individuelles. L'Agence possède par ailleurs un fichier des stations radioélectriques de toutes natures. L'implantation des stations radioélectriques et des sites de mesure de champs et un accès à la liste des mesures effectuées sont disponibles sur Internet⁷⁰.

Il reste que ces données ne concernent que des mesures ponctuelles en un point donné et qu'elles ne reflètent absolument pas l'exposition d'un individu qui évolue tout au long de la journée dans un environnement varié et variable à tout moment. L'exposition individuelle moyenne de la population générale n'est pas à ce jour connue du fait des difficultés de mesure des champs électromagnétiques. Les dosimètres individuels qui sont actuellement en phase de tests devraient permettre la réalisation d'études d'exposition en population générale, au moins dans le champ des radiofréquences. Des études pilotes sont en cours en France, à la demande de l'Afsset.

Ce sont les expositions aux champs électromagnétiques en milieu professionnel qui seront plus largement abordées dans ce chapitre. Il présente les niveaux d'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques en

70. www.cartoradio.fr.

fonction des secteurs d'activité industrielle, rappelle les normes et les techniques de mesurage de l'exposition en milieu professionnel. Enfin, une tentative d'évaluation du nombre de personnes potentiellement exposées aux champs électromagnétiques en milieu professionnel en France est proposée.

Exposition aux champs électromagnétiques en milieu professionnel

Il n'est pas aisé d'avoir une vision synthétique des expositions professionnelles aux champs électromagnétiques. En effet, les travaux menés de façon systématique sont peu nombreux, et de réalisation assez récente. Ils ont avant tout été réalisés pour explorer des activités industrielles, repérées comme pouvant être génératrice de fortes expositions (par exemple, les activités de production et de transport de l'énergie électrique) dans le cadre d'études épidémiologiques de cohorte. Quelques études ont exploré de façon plus systématique des professions diverses dans le cadre de recherches portant sur une pathologie particulière, mais tous les secteurs n'ont pas fait, à ce jour, l'objet de campagnes de mesurages systématiques des postes de travail.

Ainsi, les données d'exposition dont nous disposons à travers la littérature internationale concernent surtout les professions exposées à des champs électriques et/ou magnétiques allant des très basses aux moyennes fréquences : de 50 hertz à quelques mégahertz. Quelques études plus ponctuelles se sont intéressées aux activités professionnelles exposées aux radiofréquences soit de 3 mégahertz à quelques gigahertz.

Il est impératif de prendre en compte le fait que toute personne travaillant dans un environnement où il existe un câblage électrique est exposée à un champ électromagnétique, dont le niveau dépendra de la densité du câblage électrique, du nombre de sources, de la distance du sujet à ces sources... Ce type d'environnement constituera donc souvent le niveau de référence, qui permettra ensuite de classer les autres environnements ou tâches professionnels.

Par ailleurs, les divers travaux d'évaluation des expositions aux champs électromagnétiques sont présentés suivant les études sous des unités différentes correspondant à l'évaluation tantôt du champ électrique (en volt par mètre), tantôt du champ magnétique (en ampère par mètre) ou de l'induction magnétique (en tesla), ce qui ne permet pas une comparaison facile. Celle-ci nécessite l'application des règles de conversion.

Enfin, de même qu'en ce qui concerne les expositions chimiques, le niveau d'exposition d'un salarié va dépendre des tâches réalisées et des lieux où sont

réalisées ces tâches sur la durée de son poste de travail. Ainsi, une mesure ponctuelle sur un lieu fixe ne permet pas d'évaluer sa dose d'exposition réelle. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer de données individuelles obtenues à l'aide d'un dosimètre individuel. D'une manière générale, l'intensité de l'exposition étant liée à la puissance délivrée, ainsi qu'à la distance de la tâche par rapport à la source et à la durée de la tâche exposante, ces deux aspects sont à prendre en compte dans l'analyse des tâches professionnelles et l'évaluation de l'exposition.

La difficulté, dans le cas de l'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques est que l'on se situe souvent en champ proche ; l'exposition du corps peut être très variable suivant la position de travail, et n'être qu'une exposition très localisée à une partie du corps ; dans ces cas, la métrologie doit en tenir compte.

Professions exposées aux très basses fréquences

L'exposition aux très basses fréquences est principalement due aux réseaux d'alimentation électrique, haute, moyenne et basse tension, dont les caractéristiques varient quelque peu d'une région à l'autre. La fréquence est de 50 Hz en Europe avec une tension de 220 volts chez la plupart des abonnés, mais qui est souvent supérieure en milieu industriel, pour respectivement 60 Hz et 110 volts en Amérique du Nord.

A priori, les professions les plus exposées sont :

- celles proches des installations produisant l'énergie électrique (opérateurs et agents de maintenance des centrales électriques) ;
- celles qui travaillent à proximité des installations de transport de l'énergie électrique (monteurs de lignes électriques, électriciens intervenant sur les transformateurs électriques...) ;
- celles qui travaillent à proximité d'installations de fortes puissances (moteurs électriques, soudures électriques, fours électriques de toutes sortes...).

Lorsque l'on analyse les sources bibliographiques, il est nécessaire de tenir compte de l'origine des travaux, suivant qu'ils ont été conduits en Amérique du Nord (60 Hz, 110 volts) ou en Europe (50 Hz, 220 volts), certaines valeurs pouvant de ce fait ne pas être totalement transposables. Dans la littérature scientifique, différents types de mesures sont disponibles. Certaines publications font état de mesures ponctuelles près de sources professionnelles (meuleuse, sèche-cheveux, écran d'ordinateur...), d'autres permettent de repérer des environnements professionnels (par exemple, salle d'opération dans un hôpital) ; enfin, certaines publications donnent des mesures d'exposition pour des emplois donnés rapportés à une journée de travail (TWA) (par exemple, soudeur à l'arc, cuisinier, monteur de lignes...). De ce fait, il

n'est pas toujours facile de pouvoir caractériser l'exposition de groupes de professionnels si l'on ne peut pas disposer de travaux synthétiques (par exemple une matrice emplois-expositions).

Le travail le plus synthétique réalisé pour la gamme de fréquence (50-60 Hz) est celui de Joe Bowman (2000) qui a construit une matrice emplois-expositions à partir :

- de données obtenues auprès de six sources principales dans des cohortes spécifiques, par exemple, les études de cohorte réalisées dans l'industrie de production et de transport de l'électricité (Thériault et coll, 1994 ; Savitz et Loomis, 1995) ou une étude cas-témoin sur les tumeurs du cerveau et les leucémies pour lesquels des mesures sur un échantillon représentatif des salariés suédois ont été effectuées (Floderus et coll., 1993). Floderus et coll. ont construit à partir de cette étude une première matrice emploi-exposition qui sert de base à celle du *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) ;
- de données publiées dans la littérature ;
- de campagnes de mesures réalisées à l'aide de dosimètres portables dans le cadre d'une étude à San Francisco sur les gliomes observés dans six industries présentes dans la région (dans ce cas, il s'agit plutôt de mesures ponctuelles) ou dans une étude des employés de bureau à Seattle.

Cette matrice permet d'attribuer une moyenne arithmétique (et son écart-type) et une moyenne géométrique (et son écart-type) à chaque groupe d'emploi caractérisé par un code SOC (codification des emplois US) rapportées à une journée de travail (TWAs), ainsi que les variances intra et extra-groupes. L'unité de mesure est le tesla (T) caractérisant l'induction magnétique B, elle-même, dans l'air, étant proportionnelle à l'intensité de champ magnétique H, exprimée en ampère par mètre, par la relation $B = \mu_0 \times H$ avec $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$.

La même matrice ayant également fait l'objet d'un transcodage en code BOC (codification US également). Le nombre de sujets sur lesquels la mesure a été faite est également porté. Ce travail peut être demandé au NIOSH. Il devrait faire l'objet d'une publication prochaine.

Depuis les premiers travaux de Floderus et coll. (1993) qui ont servi de base à la matrice ELF/MF du NIOSH, la matrice est en cours de remise à jour du fait de nouveaux travaux publiés et du travail réalisé par le groupe d'évaluation des expositions professionnelles mis en place dans le cadre de l'étude Interphone.

Niveaux d'exposition relevés

Pour illustration, le tableau 56.I présente quelques niveaux de mesure observés dans les industries de production et de transport d'électricité et de travaux électriques en général (d'après Deadman et coll., 1996). D'une façon générale, les tâches associées aux expositions les plus élevées dans les activités de production ou de transport de l'électricité sont celles réalisées en salle de

turbine (champ magnétique induit moyen⁷¹ : 7,5 μT) ou sur les pylônes des lignes à haute tension (champ magnétique induit moyen : 11,8 μT) (Renew et coll., 2003).

Tableau 56.1 : Niveaux de mesure observés dans les industries de production et de transport électrique et de travaux électriques en général (d'après Deadman et coll., 1996)

Titre de l'emploi	Type d'environnements	Induction magnétique en μT		
		Nombre de sujets évalués	Moyenne arithmétique	Écart-type
Production d'électricité				
Salariés de centrale électrique	Opérateurs en salle de production de centrale hydroélectrique	11	1,56	2,4
	Opérateurs en salle de production de centrale nucléaire	17	0,13	1,35
	Contremaître de centrale hydroélectrique	9	0,50	2,56
	Opérateurs sur des postes électriques d'interconnexion (haute tension : 735 kV)	18	1,78	2,52
	Opérateurs sur des postes électriques de transformation (moyenne tension)	16	1,17	2,44
Monteurs de lignes				
	Haute tension aérienne	12	1,79	2,29
	Tension ≤ 735 V lignes aériennes	18	0,60	1,90
	Lignes domestiques	23	0,83	2,41
Distribution				
	Câbleur	18	1,87	3,13
	Installateurs de compteurs	10	0,42	2,44
	Releveurs de compteurs	14	0,17	1,64
Électriciens				
	Maintenance des équipements en centrales hydroélectriques	20	0,99	2,53
	Maintenance des équipements dans des postes de transformation ≤ 735 V	29	2,36	3,25
	Bâtiment	9	0,87	2,63

71. Il s'agit d'une moyenne géométrique

Le tableau 56.II présente quelques niveaux de mesure observés dans l'industrie électronique et les activités tournant autour de l'électroménager (d'après Bowman, 2000) La fabrication de semi-conducteur est à l'origine d'exposition importante à certains postes de travail ; il en est de même des travaux de réparation, notamment de l'électroménager domestique.

Tableau 56.II : Niveaux de mesure observés dans l'industrie électronique (d'après Bowman, 2000)

Titre de l'emploi	Type d'environnement	Champ électrique en V/m			Induction magnétique en μ T		
		Nb de sujets évalués	Moyenne arithmétique	Min-max	Nb de sujets évalués	Moyenne arithmétique	Min-max
Industrie électronique							
Monteurs de composants électroniques	Pulvérisation				2 ^a	2,4	1,4-4,3
	Soudure	2 ^a	8	8-9	2 ^a	0,13	0,13-0,16
	Microélectronique	2 ^a	2	0,8-3	3 ^a	0,003	0,001-0,006
Ingénieurs et techniciens	Laboratoire laser	4 ^a	2	0,6-8	9	1,1	0,2-20
	Laboratoire de normalisation	4 ^a	2	0,5-4	4 ^a	0,06	0,05-0,07
	Bureau	1	1		1	0,02	
Réparation d'appareils domestiques							
Réparateurs Radio ou TV		11	45	4-110	11	0,63	2,6
Autres professions							
Opérateurs radio					3 ^a	0,03	0,02-0,04
Projectionnistes	Arc Xenon	4 ^a	1	0-2	7	1,4	0,1-4,5

^a Il s'agit d'une information à visée uniquement indicative. Ce sont des informations non représentatives, en effet, la publication rapporte des mesures effectuées sur des sujets en nombre restreint.

Le tableau 56.III présente quelques niveaux de mesure observés dans diverses industries manufacturières, notamment pour ceux qui pratiquent les divers types de soudage électrique.

Tableau 56.III : Niveaux de mesure observés dans diverses industries manufacturières

Titre de l'emploi	Type d'environnements	Induction magnétique en μT		
		Nombre de sujets évalués	Moyenne arithmétique	Min-max
Industrie manufacturière				
Soudeurs	TIG			
Soudeurs	Courant alternatif	4 ^a	4,1	2,4-9,0
Soudeurs	Courant continu	4 ^a	0,65	0,4-1,6
Caristes à chariot électrique		9	1,2	0,09-12,5

^a Il s'agit d'une information à visée uniquement indicative. Ce sont des informations non représentatives, en effet, la publication rapporte des mesures effectuées sur des sujets en nombre restreint.

Des mesures ponctuelles excédant 500 μT ont été mises en évidence près des postes de travail de soudage par résistance, ou par point (notamment sur le côté des machines, près de la boucle de courant) (Herrault et Donati, 2002).

Une étude récente a été réalisée en Suisse et a permis de caractériser les professions typiques des chemins de fer suisses (tableau 56.IV) (Minder et Pfluger, 2001 ; Lörtscher et coll., 2006).

Tableau 56.IV : Niveaux de mesure pour les professions typiques des chemins de fer suisses

Emplois	Moyenne sur une journée de travail (8 h)
Conducteur de train (tout type de motrice)	21 μT
Techniciens de manœuvre de gare de triage	6 μT
Contrôleur	4 μT
Chef de gare	1 μT

Les mesures ont été effectuées sur les différents types de motrices utilisées en Suisse. D'une façon générale, les plus anciennes motrices électriques émettaient des champs plus élevés (induction magnétique maximale mesurée : 215 μT) que les motrices actuelles équipées de moteurs triphasés à induction (induction magnétique maximale mesurée < 0,5 μT).

Le tableau 56.V présente quelques professions, fréquemment répandues dans les populations de femmes (d'après Deadman et Infante-Rivard, 2002), classées suivant les percentiles d'exposition de la moyenne rapportée à un temps de travail hebdomadaire (des plus exposées au moins exposées).

Tableau 56.V : Niveaux de mesure pour des professions féminines classées des plus exposées au moins exposées

Titre de l'emploi	Moyenne arithmétique hebdomadaire (TWAs) en μT	Nombre	Min	Max
Couseuse à la machine industrielle	0,68	36	0,25	1,19
Ouvrière en électronique	0,43	6	0,07	1,0
Cuisinière	0,38	3	0,32	0,49
Ouvrière sur machine textile	0,37	10	0,25	0,47
Responsable de magasin	0,35	8	0,15	1,31
Représentante de commerce	0,32	4	0,12	0,43
75^e percentile				
Ouvrière de l'industrie alimentaire	0,22	19	0,10	0,83
Technicienne de laboratoire	0,22	22	0,08	1,45
Employée de commerce	0,20	41	0,10	0,43
Secrétaire	0,19	124	0,08	0,43
Employée de pressing	0,19	5	0,10	0,25
Coiffeuse	0,19	19	0,07	0,43
50^e percentile				
Infirmière en services de soins intensifs	0,16	5	0,14	0,20
Assistante dentaire	0,15	5	0,15	0,15
Médecin	0,14	4	0,14	0,14
Technicienne de radiologie	0,14	7	0,14	0,14
25^e percentile				
Assistante sociale	0,13	27	0,06	0,38
Employée de banque	0,13	6	0,08	0,22
Professeur de secondaire	0,09	22	0,08	0,15
Ouvrière agricole	0,06	23	0,01	0,20
Maître-nageuse	0,03	4	0,03	0,03

L'intérêt de ce travail réalisé dans le cadre d'une étude portant sur des femmes d'origine très variée est d'avoir présenté des données correspondant à une gamme étendue d'emplois.

Parmi les emplois féminins les plus exposés, ceux mettant en œuvre des machines fonctionnant avec des moteurs électriques sont, comme attendu, les plus exposés (Kelsh et coll., 2003) (couseuse, ouvrière sur machine textile, cuisinière). De façon étonnante, on trouve également dans ce groupe

des représentantes ou des gérantes de magasin. À l'inverse, les métiers de l'agriculture sont parmi les moins exposés.

Il faut remarquer que les valeurs minimales ou maximales relevées suivant les emplois peuvent refléter des niveaux très différents et pourraient correspondre à des expositions individuelles mal représentées par la moyenne. Ainsi, suivant son activité et son environnement personnel de travail, une assistante sociale classée parmi les professionnelles les moins exposées pourrait en fait être exposée comme une cuisinière.

Professions exposées aux moyennes fréquences (50 Hz à plusieurs MHz)

Les moyennes fréquences sont utilisées en particulier dans les procédés d'électrothermie par induction pour leur propriété d'induire un courant électrique producteur de chaleur par effet joule. On trouve ces procédés dans les industries sidérurgique et métallurgique, nécessitant de la chaleur pour fondre, travailler les métaux (four à fusion, formage, soudage et brasage de précision) ; dans l'industrie électronique (génération de plasma, fusion des microcristaux de germanium ou de silicium...) ; dans l'industrie chimique (fusion de matériaux synthétiques ...) et dans l'industrie alimentaire (stérilisation, lyophilisation...). Il est à noter que les postes de travail sont souvent relativement éloignés des sources du fait de l'automatisation des procédés. Des alarmes permettent, de plus, de repérer les situations où une personne entre dans une zone dans laquelle la limite maximale est dépassée.

Près de fours à induction (480 Hz-7 kHz), des intensités de champs magnétiques ont été mesurées à des niveaux pouvant atteindre 390 A/m (mesures de champs ponctuelles) à 50 cm du four à induction et 127 V/m à 1,5 m soit respectivement des inductions magnétiques de 490 et 160 μ T. Par ailleurs, la mesure du champ induit par l'alimentation électrique 50 Hz était au-dessus de 0,4 μ T aux postes de travail de 4 fours à induction sur 5.

Près de machines à forger ou d'appareil de brasage (3,8 kHz-1,25 MHz), des mesures ponctuelles de champ électrique allant jusqu'à 197 V/m à 50 cm ont été relevées.

De même, dans des entreprises de traitement de surface (400 kHz), Floderus et coll. (2002) ont mesuré ponctuellement des champs magnétiques induits de 3,58 μ T.

Professions exposées aux champs statiques

Ils sont utilisés dans le domaine médical : les travailleurs exposés sont principalement les opérateurs de matériel à résonance magnétique nucléaire (RMN), qui peuvent être exposés à des inductions magnétiques allant de 0,2 à 3 T, et les chercheurs en imagerie médicale pour lesquels celles-ci peuvent atteindre jusqu'à 10 T.

Dans l'industrie de l'aluminium dans laquelle il est nécessaire de disposer de courants électriques très élevés (jusqu'à 40 000 A) pour alimenter les cuves d'électrolyse, on trouve également des professions exposées à des champs statiques de l'ordre de plusieurs milli-Tesla (Herrault, 2006).

Professions exposées aux radiofréquences

Les populations exposées aux radiofréquences se trouvent essentiellement parmi les professions liées aux radiocommunications et à la télédiffusion, celles-ci mettant en jeu des rayonnements non ionisants dans les bandes de fréquence suivantes (Veyret et coll., 2003 ; Hours et coll., 2005) :

- 3-30 MHz (hautes fréquences ou ondes courtes) : radio CB, radio HF, diathermie ;
- 30-300 MHz (très hautes fréquences ou VHF) : services de sécurité (par exemple, le réseau Tetrapol en France), radio à modulation de fréquence, télédiffusion VHF ;
- 300-3 000 MHz (ultra hautes fréquences ou UHF) : téléphonie mobile, télédiffusion UHF, radiomessagerie (*paging*) ;
- 3-30 GHz (hyperfréquences) : radars, micro-ondes, WiFi, communications satellitaires ;
- 30-300 GHz (extrêmement hautes fréquences) : radar.

La bande de fréquence 3-30 GHz correspond à des longueurs d'ondes décimétriques encore appelées « micro-ondes ». Celles-ci sont utilisées industriellement dans divers emplois mettant en œuvre du chauffage ou du soudage à haute fréquence, ainsi que dans des appareillages médicaux de traitement de la douleur, par exemple certains appareils de diathermie (2,45 GHz).

Nous disposons de très peu de données sur les niveaux d'exposition aux radiofréquences en milieu professionnel. Les professions potentiellement exposées se rencontrent dans les secteurs d'activité suivants :

- le milieu médical : diagnostique (opérateurs d'imagerie médicale) ; thérapeutique : à 50 cm d'un bistouri électrique, des champs électriques pouvant atteindre 248 V/m ont pu être relevés (phases de section ou de coagulation) et des champs magnétiques de 0,13 A/m (0,16 μ T) pendant des phases de coagulation ont été mesurées. De Marco et Maggi (2006) ont montré que dans le pire des cas, les mains du chirurgien sont exposées à un champ magnétique de 0,6 A/m (champ électrique : 400 V/m) lors de gestes de section et de 0,8 A/m, lors de gestes de coagulation.
- le milieu des télécommunications : installateurs et maintenance des antennes de radiodiffusion : les expositions des techniciens sont extrêmement variables selon les sites, les tâches effectuées... en particulier, pour les travailleurs s'occupant de la maintenance de stations de forte ou moyenne puissance (VHF/UHF TV, radio) et des stations Hautes fréquences (HF)

(Cooper et coll., 2004). De nombreuses mesures sont en dessous du seuil de détection des appareils, mais lors de certaines tâches des mesures proches des valeurs limites sont observées ; techniciens et opérateurs radio et TV ;

- le milieu de la navigation aéronavale : pilotes d'avion ou de navires ; radaristes ; contrôle aérien ;
- les services de sécurité (police, pompiers...) ;
- les industries, qui utilisent l'effet électrothermique des hautes fréquences : travail du bois (séchage et formage des pièces en bois, collage du contreplaqué...) ; textile ; soudage : suivant la machine sur laquelle travaillaient des soudeurs de matériaux plastiques. Wilen et coll. (2004) ont mesuré des champs électriques dont la moyenne variait de 73 V/m à 177 V/m (valeur extrême : 436 V/m), des champs magnétiques variant en moyenne de 0,14 A/m à 0,49 A/m (valeur extrême : 0,69 A/m) soit respectivement 0,18 μ T, 0,62 μ T et 0,87 μ T ;
- les industries, qui utilisent le chauffage par micro-ondes : en ce qui concerne les applications industrielles, il s'agit de tunnel ou d'enceinte fermée à l'intérieur desquels l'intensité du champ est intense. Les salariés sont éloignés des sources, cependant il peut exister des fuites au niveau des joints de portes ; industrie agroalimentaire (décongélation, déparasitage des céréales...) ; vulcanisation du caoutchouc.

Dans l'industrie alimentaire de détail (commerces alimentaires, restauration collective), une exposition près des fours micro-ondes de cuisine peut être non négligeable.

Techniques de mesure des expositions

Plusieurs auteurs ont montré que le champ électrique et le champ magnétique étaient bien corrélés et qu'il pouvait suffire de mesurer le champ magnétique pour avoir une bonne idée de l'exposition des travailleurs (Cooper et coll., 2004).

Mesures de caractérisation de l'exposition au champ magnétique d'un poste de travail

Des appareils portables ont été fabriqués qui permettent la mesure de la dose totale reçue par le sujet, au plus près, sur le poste de travail, ainsi que les TWAs rapportées au temps de travail sur 8 heures ou hebdomadaire. Ces appareils sont portés au plus près de la poitrine ou des épaules, dans une poche ou un sac. Ils fonctionnent sur le principe de mesures séquentielles (toutes les trois secondes par exemple : le logiciel intégratif estime les plages de temps non mesurées à partir des mesures adjacentes). Ceci permet de calculer un certain nombre de statistiques, d'établir des traductions graphiques de l'exposition et permet de repérer les pointes d'exposition.

Les appareils utilisés sont du type EMDEX II® ou positron®. L'EMDEX II mesure par exemple la fréquence fondamentale dans la bande 40-800 Hz et ses harmoniques dans la bande 100-8 000 Hz. Certains appareils peuvent enregistrer aussi les MF (moyennes fréquences) jusqu'à 1 000 Hz.

Spécificités en ce qui concerne la mesure des expositions radiofréquence

Les dosimètres disponibles les plus courants sont des dosimètres large bande ; ils permettent de mesurer les expositions à des sources homogènes en termes de fréquences. Si l'on veut mesurer plusieurs bandes de fréquence, il faut alors utiliser plusieurs appareils (par exemple, EFA-3 de Wandel et Goltermann (5 Hz-30 kHz), Narda 8 718 (300 kHz-3 GHz), HI-3 702 de Holaday (9 kHz-110 MHz)...).

Les appareils de mesure permettant de mesurer en même temps les radiofréquences dans plusieurs bandes de fréquence sont de mise au point très récente. Plusieurs sont en phases de validation (EME SPY de la société Antennessa, l'ESM-140 de la société Maschek).

Indices utilisés dans le cadre des études épidémiologiques

La plupart des études ont pris en compte plutôt l'exposition au champ magnétique. En effet, autant des solutions techniques existent pour se prémunir des champs électriques, autant la prévention dispose de peu de moyens techniques pour diminuer l'exposition aux champs magnétiques.

Les travaux ont souvent utilisé les moyennes (arithmétiques ou géométriques) pour calculer l'exposition des sujets. Plusieurs travaux ont montré la bonne corrélation qui existait entre les moyennes d'exposition, qu'elles soient arithmétiques ou géométriques, et divers autres indices d'exposition : ils ont souligné l'intérêt qu'il pouvait y avoir à noter la part des mesures qui dépassaient 0,2-0,5 ou 1 μ T ou de considérer comme très exposés les sujets dont l'exposition était supérieure au 90^e percentile de l'ensemble des expositions observées pour une étude (Sahl et coll., 1994 ; Savitz et coll., 1994 ; Deadman et coll., 1996).

Par ailleurs, la durée d'exposition et la période d'exposition dans le temps doivent bien sûr toujours être prises en compte, d'autant que les professions ont pu évoluer vers une exposition de plus en plus importante, les puissances mises en œuvre étant toujours plus importantes, ou du fait de l'électrification de tâches longtemps manuelles. Cependant, l'inverse peut s'être produit également : des professions qui se caractérisaient par des tâches réalisées à proximité d'outils à moteur se sont éloignées des sources de champs électromagnétiques avec l'automatisation. L'évolution de l'exposition professionnelle dans le temps est cependant très difficile à cerner du fait que la technique de

métrologie des champs électromagnétiques n'est maîtrisée que depuis peu. Une des façons d'évaluer des expositions passées est, quand c'est possible, de faire fonctionner de vieilles installations dans leur condition de fonctionnement de l'époque pour réaliser les campagnes de mesure.

Mesures de prévention

Il est relativement facile d'assurer la protection contre les champs électriques à 50-60 Hz par des écrans appropriés. Une telle mesure ne s'impose que pour les personnes travaillant dans des zones où il existe des champs très élevés et dans lesquelles un blindage des matériels n'a pas permis d'atténuer suffisamment les champs électriques.

En revanche, il n'existe pas de moyen pratique et économique de se protéger contre les champs magnétiques. Lorsque les champs magnétiques sont très intenses, la mesure de protection la plus intéressante consiste à éloigner le plus possible le personnel, l'exposition décroissant avec la distance.

Limites recommandées

Des recommandations de limites (appelées restrictions de base) sont émises par l'ICNIRP (*International Committee on Non-Ionizing Radiation Protection*) pour la protection du public et des professionnels. Ces recommandations ont été reprises dans une directive de l'Union européenne (2004/40/CE) qui devrait être transposée en droit français dans les mois à venir (avant le 30-04-2008). Cette directive transforme les restrictions de base en valeurs limites absolues à ne pas dépasser et les traduit en termes de mesures de réduction à prendre si ces limites sont dépassées. Elle les associe aux principes de gestion et de prévention du risque en milieu de travail tels qu'énoncés dans la Directive cadre 89/391/CEE.

Les recommandations sont fondées sur la nécessité de protéger les individus des effets connus des champs électromagnétiques liés à l'augmentation de température (effets « thermiques »). Ceux-ci apparaissent pour des champs produisant un débit d'absorption spécifique (DAS) pour le corps entier de plus de 4 W/kg. L'objectif des réglementations est d'éviter toute augmentation de température dans les tissus de plus de 1°C.

D'ores et déjà, l'INRS a publié deux notes documentaires qui reprennent les limites de l'ICNIRP (INRS, 2001 et 2003) :

- ND 2184-190-03 pour les champs magnétiques statiques. Les limites recommandées sont basées sur une moyenne pondérée en fonction du temps (TWA) de 200 mT pour l'exposition professionnelle au cours d'une journée de travail, avec une valeur maximale de 2 T ;
- ND 2143-182-01 pour les autres champs.

En ce qui concerne les basses fréquences (de 0 à 100 kHz), la grandeur pertinente est la densité de courant induit dans l'organisme et se mesure en mA/m² (rms⁷²). La limite en milieu professionnel est de 100 mA/m². Cette valeur, difficilement évaluable par elle-même, va correspondre à des limites de champs électriques et magnétiques dépendantes de la fréquence. Pour le 50 Hz, elle va correspondre à un champ électrique à 10 kV/m et à un champ magnétique de 500 µT. En ce qui concerne les hautes fréquences, la mesure pertinente est le DAS. Cette mesure ne pouvant être mesurée, des niveaux de référence dérivés permettent d'apprécier l'exposition aux champs électriques et au champ magnétique (induction magnétique B). Ces niveaux de référence dépendent de la fréquence.

Évaluation du nombre de personnes professionnellement exposées en France aux champs électromagnétiques

Il est extrêmement difficile d'évaluer le nombre de personnes éventuellement exposées à des champs électromagnétiques en France du fait du travail.

L'enquête Sumer (2003)⁷³ donne un ordre de grandeur des populations exposées en France aux rayonnements non ionisants à travers la question Q.214-3.

Cependant, les chiffres qui suivent doivent être pris avec précaution car la question posée ne fait état que de l'exposition aux rayonnements non ionisants, autres que le rayonnement laser ou les radiations optiques non cohérentes (UV, IR, Visibles). Aucune définition des rayonnements non ionisants n'est donnée, or peu de médecins du travail savent de quoi il s'agit et dans quelle situation ces rayonnements existent ; en particulier, il est difficile de savoir dans quelle mesure l'exposition « banale » liée au courant électrique, notamment pour le matériel informatique, a été prise en compte.

Dans la mesure où il n'existe pas d'autres sources de données, l'enquête Sumer apporte toutefois des éclairages intéressants, notamment sur les secteurs d'activité principalement concernés.

Les estimations réalisées à partir des questionnaires renvoyés par les médecins du travail évoquent un nombre de 205 600 salariés exposés à ces champs électromagnétiques (soit 1,2 % de la population salariale).

En termes de répartition par sexe, il y aurait 3 hommes exposés pour une femme. Parmi les salariés, 37,5 % seraient exposés 20 heures et plus hebdomadaires.

72. rms : *root mean square* (valeur quadratique moyenne)

73. Données disponibles à l'adresse :

Plusieurs éléments doivent cependant être pris en compte dans cette évaluation :

- certains secteurs qui apparaissent comme exposés ne regroupent pas la totalité des salariés du secteur, qui peuvent être embauchés dans le cadre d'entreprises dépendant de certains régimes spéciaux et n'ayant pas participé à l'enquête (par exemple, dans les transports ne sont pas pris en compte les salariés des régies autonomes de transport urbain ou les services autonomes portuaires). Il apparaît donc que cette évaluation est certainement sous estimée ;
- la question ne permet pas de distinguer les différents types de champs électromagnétiques et il est de ce fait difficile de cerner le nombre de salariés exposés d'une part aux basses fréquences, d'autre part aux radiofréquences à partir des données par secteurs industriels ;
- du fait de la non-représentativité de certains sous-groupes, la Dares n'a pas donné de chiffres précis pour certaines activités professionnelles ou pour certains emplois ; cependant, au niveau global, les estimations (205 600 personnes) les prennent en compte en partie.

Le tableau 56.VI donne la répartition des effectifs, estimés à partir de l'enquête Sumer, dans les activités économiques exposant le plus grand nombre de personnes aux rayonnements non ionisants (autres que rayonnement laser, UV...).

Tableau 56.VI : Activités économiques exposant le plus grand nombre de personnes (par ordre décroissant des effectifs exposés) (d'après Sumer, 2003)

Secteur d'activité économique	Effectifs exposés	Proportion de salariés exposés (%)
Immobilier, location et services aux entreprises ^a	54 200	1,8
Transports et communications	32 100	2,3
Commerce, réparations automobiles et articles domestiques	18 800	0,7
Administration publique ^b	Chiffre imprécis	Imprécis
Fabrication de matériels électriques et électroniques	12 500	2,7
Santé et action sociale	11 800	0,6
Production et distribution : électricité, gaz et eau	9 400	4,4

^a Les intérimaires, quels qu'ils soient, sont comptés dans cette catégorie. Cette catégorie comprend la recherche privée et non la recherche publique ; ^b Ce secteur ne contient que les activités de sécurité sociale, de redistribution des revenus, et de gestion des retraites complémentaires

En terme de professions, les familles professionnelles fournissant les plus importants effectifs de salariés exposés aux rayonnements non ionisants sont les ingénieurs de l'informatique (nombre non donné par l'enquête Sumer),

les ouvriers, techniciens, agents de maîtrise des services de maintenance (environ 30 000 salariés), les techniciens, agents de maîtrise des services de *process* (7 100 salariés). Les principales autres catégories de salariés exposés, pour lesquelles l'enquête Sumer signale qu'elles fournissent un grand nombre de salariés exposés, sans toutefois donner de chiffre précis, sont les cadres commerciaux et technico-commerciaux, les employés et techniciens d'assurance, les techniciens de l'informatique, et les ouvriers qualifiés des services de *process*.

BIBLIOGRAPHIE

BOWMAN JD, METHNER MM. Hazard surveillance for industrial magnetic fields: II. Field characteristics from waveform measurements. *Ann Occup Hyg* 2000, **44** : 615-633

COOPER TG, ALLEN SG, BLACKWELL RP, LITCHFIELD I, MANN SM, et coll. Assessment of occupational exposure to radiofrequency fields and radiation. *Radiat Prot Dosimetry* 2004, **111** : 191-203

DE MARCO M, MAGGI S. Evaluation of stray radiofrequency radiation emitted by electrosurgical devices. *Physics in Medicine and Biology* 2006, **51** : 3347-3358

DEADMAN JE, INFANTE-RIVARD C. Individual estimation of exposures to extremely low frequency magnetic fields in job commonly held by women. *Am J Epidemiol* 2002, **155** : 368-378

DEADMAN JE, ARMSTRONG BG, THÉRIAULT G. Exposure to 60-Hz magnetic and electric field at a Canadian electric utility. *Scand J Environ Health* 1996, **22** : 415-424

FLODERUS B, PERSSON T, STENLUND C, WENNBERG A, OST A, KNAVE B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control* 1993, **5** : 465-476

FLODERUS B, STENLUND C, CARLGREN F. Occupational exposures to high frequency electromagnetic fields in the intermediate range (> 300 Hz-10 MHz). *Bioelectromagnetics* 2002, **23** : 568-577

HERRAULT J. Les sources de rayonnements électromagnétiques. In : 29ème Congrès National de médecine et santé au travail. Masson (ed), 2006, 30 mai 2006- 2 juin 2006, Lyon, 2006 : 414-416

HERRAULT J, DONATI P. Soudage par résistance. Cartographie du champ magnétique et prévention. Cahiers de Notes Documentaires Hygiène et Sécurité du Travail, 2002 3^e trimestre, **188** : 43-51

HOURS M, ARAN JM, AZOULAY A, BUSER P, COUTURIER F, et coll. Téléphonie mobile et santé. Rapport d'expertise. Paris, Afsse, 2005

ICNIRP, INRS VF. 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). Cahiers de Notes Documentaires Hygiène et Sécurité du Travail, INRS 2001 : 19-47

ICNIRP, INRS VF. Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs magnétiques statiques. Cahiers de Notes Documentaires Hygiène et Sécurité du Travail, INRS 2003 : 5-11

KELSH MA, BRACKEN TD, SAHL JD, SHUM M, ELBI KL. Occupational magnetic field exposures of garment workers: results of personal and survey measurements. *Bioelectromagnetics* 2003, **24** : 316-326

LÖRTSCHER M, LÖRTSCHER E, VOEGELI H, RÖÖSLI M. Measurements and simulations of Electro-magnetic field emissions of the Swiss federal railway rolling stock. Session electromagnetic field. International conference on Environmental Epidemiology and exposure (ISEE/ISEA), Paris, 2006, Sept 2-6

MINDER CE, PFLUGER DH. Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. *Am J Epidemiol* 2001, **153** : 825-835

RENEW DC, COOK RF, BALL MC. A method for assessing occupational exposure to power-frequency magnetic fields for electricity generation and transmission workers. *J Radiol Prot* 2003, **23** : 279-303

SAHL JD, KELSH MA, SMITH RW, ASELTINE DA. Exposure to 60 Hz magnetic fields in the electric utility work environment. *Bioelectromagnetics* 1994, **15** : 21-32

SAVITZ DA, LOOMIS D. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1995, **141** : 123-133

SAVITZ DA, OHYA T, LOOMIS DP, SENIOR RS, BRACKEN TD, HOWARD RL. Correlations among indices of electric and magnetic field exposure in electric utility workers. *Bioelectromagnetics* 1994, **15** : 193-204

THÉRIAULT G, GOLDBERG M, MILLER AB, ARMSTRONG B, GUÉNEL P, et coll. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France : 1970-1989. *Am J Epidemiol* 1994, **139** : 550-572

VEYRET B, ARAN JM, BOLOMEY JC, BUSER P, HOURS M, et coll. Téléphonie mobile et santé. Rapport d'expertise. Afsse, Paris, 2003

WILEN J, HÖRNSTEN R, BJERLE P, WIKLUND U, STENSSON O, et coll. Electromagnetic field exposure and health among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 2004, **25** : 5-15