



**Exposition des travailleurs
aux risques dus aux champs
électromagnétiques**
Guide d'évaluation des risques

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les Carsat, Cram, CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés.

Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, multimédias, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les Carsat.

Pour les obtenir, adressez-vous au service Prévention de la caisse régionale ou de la caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collègue représentant les employeurs et d'un collègue représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), les caisses régionales d'assurance maladie (Cram) et caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, les caisses régionales d'assurance maladie et les caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

**Exposition des travailleurs
aux risques dus aux champs
électromagnétiques**
Guide d'évaluation des risques

Ce guide résulte d'une coopération entre l'**INERIS** (l'auteur) et l'**INRS**, avec la participation des Centres de mesures physiques des CARSAT/CRAM.



Parc Technologique ALATA
BP 2
60550 Verneuil-en-Halatte
Tél. : 03 44 55 66 77
Fax : 03 44 55 66 99

INERIS

Docteur De Seze

Claude Courtin

Pierre Gruet

CARSAT/CRAM/INRS

M. Becker (INRS)

M. Bissériex (CARSAT Auvergne)

M. Bonnet (CARSAT Centre)

M. Cabaret (CARSAT Rhône-Alpes)

Mme Castro (CARSAT Midi-Pyrénées)

M. Demaret (INRS)

M. Donati (INRS)

Mme Ganem (INRS)

M. Laurent (CARSAT Centre-Ouest)

M. Le Berre (CARSAT Bretagne)

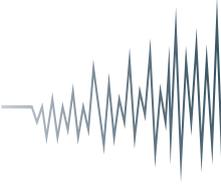
M. Marteau (CRAMIF)

M. Moureaux (INRS)

M. Tirlemont (CARSAT Nord-Picardie)



1. Généralités sur les champs électromagnétiques	
1.1. Spectre électromagnétique	6
1.2. Champs électriques, magnétiques et électromagnétiques	6
1.3. Longueur d'onde et fréquence	7
1.4. Zones de champ réactif, proche et lointain	7
1.5. Environnement de travail	7
1.6. Fil rouge	8
2. Effets d'une exposition	
2.1. Champs statiques	9
2.2. Fréquences inférieures à 100 kHz	9
2.3. Fréquences supérieures à 10 MHz	10
2.4. Fréquences comprises entre 100 kHz et 10 MHz	11
2.5. Fil rouge	11
3. Réglementation en milieu professionnel	
3.1. Directive 2004/40/CE	12
3.2. Obligations du chef d'entreprise en santé et sécurité au travail	13
3.3. Information et formation des salariés	14
3.4. Surveillance de la santé	14
3.5. Fil rouge	14
4. Sources de champs électromagnétiques en milieu professionnel	
4.1. Généralités	15
4.2. Fil rouge	15
5. Évaluation simplifiée des risques	
5.1. Recensement et caractérisation rapide des équipements	17
5.2. Comparaison à une liste générique d'équipements peu émettants	17
5.3. Équipements marqués CE	17
5.4. Fil rouge	17
6. Évaluation approfondie des risques : estimation de l'exposition	
6.1. Mesure des champs électromagnétiques émis	20
6.2. Analyse du poste de travail	20
6.3. Exposition maximale au poste de travail	20
6.4. Détermination des VDA	21
6.5. Fil rouge	22
7. Évaluation approfondie des risques : les effets indirects	
7.1. Contact avec un objet métallique placé dans le champ électromagnétique	25
7.2. Projection d'objets ferromagnétiques	25
7.3. Amorçage de dispositifs électriques de mise à feu (détonateurs)	25
7.4. Incendies et explosions	25
8. Évaluation approfondie des risques : les salariés à risques particuliers	
8.1. Salariés porteurs de dispositifs médicaux implantables actifs (DMIA)	26
8.2. Salariés porteurs d'implants passifs ferromagnétiques	26
8.3. Femmes enceintes	26
9. Actions de réduction de l'exposition	
9.1. Réduction à la source	27
9.2. Protection collective	27
9.3. Éloignement	27
9.4. Protection individuelle	27
9.5. Fil rouge	28
9.6. Signalisation	28
9.7. Fil rouge - Cas concrets de mesures de prévention mises en place dans les entreprises	29
Pour en savoir plus	
Documents	33
Adresses internet utiles	33



Ce guide a pour but d'aider les entreprises à prévenir les risques liés à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques dans la gamme des fréquences de 0 à 300 GHz. Afin de mieux appréhender les risques éventuels et leur contexte réglementaire, des notions sur les champs électromagnétiques sont rappelées en première partie ; les effets biologiques ou sanitaires liés à l'exposition à ces champs sont présentés dans la deuxième partie ; la troisième partie fait, quant à elle, le point sur la réglementation concernant les champs électromagnétiques en milieu professionnel et rappelle les obligations des chefs d'entreprises en termes de santé et sécurité au travail.

Se voulant résolument pratique, ce guide a pour but de simplifier la démarche d'évaluation des risques liés aux champs électromagnétiques en procédant selon un ordre de probabilité par élimination (voir « Évaluation simplifiée des risques », chapitre 5).

À l'issue de l'évaluation simplifiée et en fonction des équipements existants dans l'entreprise, une évaluation approfondie est proposée si nécessaire.

Il apparaît que huit applications industrielles sont principalement susceptibles d'exposer les opérateurs. Ces huit applications sont suivies en « fil rouge » tout au long des différentes parties de cet ouvrage.

Les grandes actions de réduction de l'exposition (réduction à la source, protection collective, éloignement, signalisation) sont énumérées. Enfin, sont évoquées l'information et la formation des salariés, l'accessibilité de l'évaluation des risques et la surveillance de la santé des salariés.

1. Généralités sur les champs électromagnétiques

1.1. Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique comporte l'ensemble des rayonnements électromagnétiques, ordonnés selon leur fréquence (figure 1).

On différencie les rayonnements capables de casser des liaisons chimiques (rayonnements ionisants « RI ») et ceux qui n'ont pas assez d'énergie pour le faire (rayonnements non ionisants « RNI »).

Ce guide ne traite que d'une partie du spectre électromagnétique, appartenant aux RNI, composée des champs statiques, des rayonnements extrêmes basses fréquences ELF et des rayonnements radio-électromagnétiques (radiofréquences RF et hyperfréquences HF).

1.2. Champs électriques, magnétiques et électromagnétiques

Ces champs n'existent qu'en présence de charges électriques. Un champ électrique **E** est généré par une

tension électrique (exemple du condensateur), un champ magnétique **H** par un courant électrique (exemple de la bobine d'induction). Un champ électromagnétique est l'association de ces deux champs en un seul champ indissociable. « E » et « H » sont les intensités respectives des champs électrique **E** et magnétique **H**.

Le terme de « champ électromagnétique » renvoie à une image statique alors que celui d'« onde électromagnétique » est associé à la notion de propagation dans l'espace.

Grandeurs associées

L'induction magnétique **B** est liée à l'intensité du champ magnétique **H** par la formule $B = \mu H$, où μ est la perméabilité magnétique du milieu physique. Cette relation est valable dans les milieux non aimantés et dans certains milieux aimantés.

La densité de puissance **S** est égale au produit de **E** par **H** (tableau 1).

Figure 1. Représentation du spectre électromagnétique

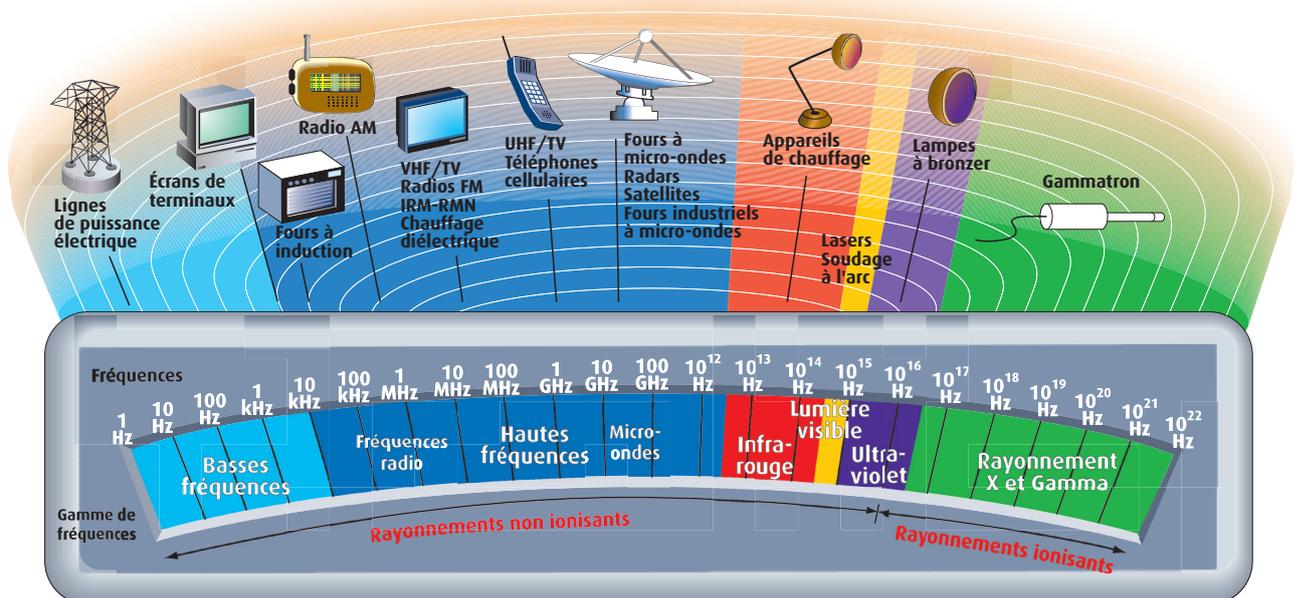




Tableau 1

Grandeurs physiques associées aux champs électromagnétiques et unités correspondantes

Grandeur physique	Unités
Intensité de champ électrique E	Volt par mètre (V.m ⁻¹)
Intensité de champ magnétique H	Ampère par mètre (A.m ⁻¹) ⁽¹⁾
Induction magnétique B	Tesla (T) ⁽²⁾
Densité de puissance S	Watt par mètre carré (W.m ⁻²)

Tableau 2

Délimitation des différentes zones de champ et relations entre les grandeurs associées aux champs électromagnétiques

Zone	Distance « d » à la source de champ magnétique	Relation entre grandeurs dans l'air
Champ réactif	$d < \lambda/2\pi$	$B = \mu_0 H$, avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$
Champ proche	$\lambda/2\pi < d < 2D^2/\lambda$	$S < E \cdot H$ $E = Z \cdot H$, avec $Z \neq Z_0$ $B = \mu_0 H$
	si $\lambda/2\pi > 2D^2/\lambda$, on utilise : $\lambda/2\pi < d < 1,6 \lambda$	
Champ lointain	$d > 2D^2/\lambda$ (ou $1,6 \lambda$)	$S = E \cdot H$ $E = Z_0 \cdot H$, avec $Z_0 = 377 \Omega$ $B = \mu_0 H$
	si $\lambda/2\pi > 2D^2/\lambda$, on utilise : $d > 1,6 \lambda$	

1.3. Longueur d'onde et fréquence

Une onde électromagnétique sinusoïdale a une fréquence f et une longueur d'onde λ . Ces deux grandeurs sont reliées par la formule $\lambda = c/f$, où c est la célérité de la lumière dans le vide ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

1.4. Zones de champ réactif, proche et lointain

On définit les trois zones en fonction de la dimension D pertinente de la source et de la longueur d'onde λ du champ électromagnétique (tableau 2).

Les formules établissant les limites entre zones sont des formules usuelles qui ne sont pas strictement rigoureuses. En champ lointain, la seule connaissance de E (ou H), par exemple par la mesure, suffit à déterminer H (ou E) et S.

1.5. Environnement de travail

Généralement, les salariés exposés le sont en zone de champ réactif ou proche. Dans cette zone, la connaissance de l'intensité d'un champ ne peut pas être déduite de celle de l'autre champ mais les équipements sources de champ n'émettent souvent qu'un seul des deux types de champ de façon importante : champ magnétique en cas de courants forts et champ électrique en présence de tensions élevées.

(1) On trouve encore l'Oersted (Oe) : $1 \text{ Oe} = 79,6 \text{ Am}^{-1}$.

(2) On trouve encore le Gauss (G) : $10\,000 \text{ G} = 1 \text{ T}$.

1.6. Fil rouge

Huit applications industrielles d'équipements susceptibles d'émettre des champs électromagnétiques importants ont été identifiées :

1. Les appareils utilisant le principe de l'induction (soudage, fusion, chauffage, traitement de surface...).
2. Les magnétiseurs/démagnétiseurs.
3. Les appareils de magnétoscopie.
4. Les appareils d'imagerie par résonance magnétique (IRM, RMN).
5. Les cuves à électrolyse.
6. Les machines de soudage par résistance.

7. Les machines de chauffage, soudage par pertes diélectriques.

8. Les fours micro-ondes.

Selon les distances à l'équipement des salariés, différentes zones de champ peuvent être considérées (*tableau 3*).

Les salariés sont pratiquement toujours en zone de champ réactif pour les applications « Induction », « Magnétiseurs / démagnétiseurs », « Magnétoscopie », « IRM/RMN », « Electrolyse », « Soudage par résistance », en zone de champ réactif ou proche pour les applications « Chauffage, soudage par pertes diélectriques » et en zone de champ proche ou lointain pour les applications « Fours micro-ondes ».

Tableau 3
Détermination des zones de champ où se situe l'exposition des travailleurs

Applications d'équipements	Fréquence (Hz)	Longueur d'onde λ	$\lambda/2\pi$	$1,6\lambda$	Zone d'exposition
Soudage par résistance	50 Hz	6 000 km	955 km	9 600 km	champ réactif
	150 Hz	2 000 km	318 km	3 200 km	champ réactif
	300 Hz	1 000 km	159 km	1 600 km	champ réactif
Magnétiseurs démagnétiseurs	50 Hz	6 000 km	955 km	9 600 km	champ réactif
Induction	50 Hz	6 000 km	955 km	9 600 km	champ réactif
	250 Hz	1 200 km	191 km	1 920 km	champ réactif
	2 kHz	150 km	24 km	240 km	champ réactif
	10 kHz	30 km	4,8 km	48 km	champ réactif
Magnétoscopie	statique	infinie	infinie	infinie	champ réactif
	50 Hz	6 000 km	955 km	9 600 km	champ réactif
Chauffage, soudage par pertes diélectriques	5 MHz	60 m	10 m	96 m	champ réactif ou proche
	13,6 MHz	22 m	4 m	35,3 m	champ réactif ou proche
	27,12 MHz	11 m	2 m	17,7 m	champ réactif ou proche
Électrolyse	statique	infinie	infinie	infinie	champ réactif
	50 Hz	6 000 km	955 km	9 600 km	champ réactif
	150 Hz	2 000 km	318 km	3 200 km	champ réactif
	300 Hz	1 000 km	159 km	1 600 km	champ réactif
IRM/RMN	statique	infinie	infinie	infinie	champ réactif
Fours micro-ondes	2,45 GHz	12,5 cm	2 cm	20 cm	champ proche ou lointain

2. Effets d'une exposition



On appelle effets directs les effets issus de l'action directe des champs électromagnétiques sur le corps. Les effets indirects sont ceux générés par l'intermédiaire d'un vecteur. Seuls des effets à court terme sont actuellement reconnus scientifiquement. Le Centre International de Recherche

sur le Cancer (CIRC) a classé les champs ELF ($f < 10$ kHz) et les champs RF comme « peut-être cancérigènes pour l'homme » sur la base d'études épidémiologiques, mais aucun mécanisme biologique connu ne permet d'établir un lien de cause à effet.

Définitions

On appelle « effets biologiques » des changements d'ordre physiologique, biochimique ou comportemental qui sont induits dans un organisme, un tissu ou une cellule en réponse à une stimulation extérieure. Un effet biologique ne conduit pas toujours à des effets nocifs pour la santé ; il peut manifester simplement la réponse adaptative normale de la cellule, du tissu ou de l'organisme à cette stimulation (par exemple, la sudation quand il fait chaud).

Un « effet sanitaire » est un effet biologique qui peut mettre en danger le fonctionnement normal d'un organisme, en dépassant les capacités de réponse « physiologique » à l'action de l'agent extérieur. Des effets biologiques qui sont, ou qui peuvent être considérés, en l'état actuel des connaissances, comme prédictifs de conséquences sanitaires sont qualifiés par les groupes d'experts d'« effets biologiques menaçants ».

2.1. Champs statiques (tableau 4)

Tableau 4

Effets dus à une exposition à des champs statiques

Type d'effets	Effets	Champ	Intensité
Direct	Vertiges, nausées, goût métallique	H	$B > 4$ T
Indirect	Déplacement ou descellement des implants passifs ferromagnétiques	H	$B > 3$ mT
	Projection d'objets ferromagnétiques		
	Dysfonctionnement et dérèglement des dispositifs médicaux implantables actifs (stimulateurs cardiaques, pompes à insuline, prothèses auditives...)	H	$B > 0,5$ mT

2.2. Fréquences inférieures à 100 kHz

Effets directs

Des courants électriques sont induits dans le corps par l'exposition aux champs E et H (tableau 5).

Tableau 5

Effets biologiques et sanitaires associés à la création de courants induits dans le corps à la fréquence de 50 Hz

Effets biologiques et sanitaires	Densités de courant induit
Effets biologiques mineurs	de 1 à 10 mA.m ⁻²
Magnétosphènes, effets sur le système nerveux	de 10 à 100 mA.m ⁻²
Stimulation des tissus excitables	de 100 à 1 000 mA.m ⁻²
Extrasystoles et fibrillation ventriculaire	au-dessus de 1 000 mA.m ⁻²

Des magnétosphènes peuvent apparaître, par exemple à partir de 10 mT à 20 Hz.

Tableau 6
Effets biologiques et sanitaires induits lors du contact entre une personne et un objet métallique dans un champ électromagnétique à la fréquence de 50 Hz

Effets biologiques et sanitaires	Courants de contact
Seuil de perception	de 0,2 à 0,4 mA
Seuil de la douleur	de 0,9 à 1,8 mA
Seuil de choc douloureux Seuil de relaxation musculaire	de 8 à 16 mA
Seuil de choc sévère Seuil de difficulté à respirer	de 12 à 23 mA

Effets indirects

- Ceux dus aux courants de contact entre une personne et un objet métallique hors tension porté à un potentiel différent de celui de la personne par le champ magnétique ou électrique (*tableau 6*).
- Dysfonctionnement et dérèglement de dispositifs médicaux implantables actifs.
- Aucune valeur limite n'est définie, sauf pour $f = 50 \text{ Hz}$: $B < 1 \text{ mT}$ et $E < 10 \text{ kV.m}^{-1}$.
- Amorçage de dispositifs électriques de mise à feu (détonateurs).
- Incendies et explosions.
- Autres.

2.3. Fréquences supérieures à 10 MHz

Effets directs

L'effet principal est l'effet thermique : le corps s'échauffe quand ses limites de thermorégulation sont dépassées. L'échauffement ne se fait pas de façon homogène, certains tissus absorbant plus que d'autres. Un échauffement jusqu'à $1 \text{ }^\circ\text{C}$ n'entraîne que des troubles réversibles.

Un effet non thermique est reconnu : le clic micro-onde.

C'est une perception auditive à peine perceptible due à la création d'ondes sonores suite à l'absorption par le liquide céphalorachidien d'ondes électromagnétiques pulsées de fréquences comprises entre 425 MHz et 6,5 GHz.

Des personnes souffrant d'intolérance environnementale idiopathique (hypersensibles) décrivent des symptômes non spécifiques comme des troubles du sommeil ou des maux de tête. Aucun lien n'a été prouvé avec une exposition aux champs électromagnétiques.

Effets indirects

- Ceux dus aux courants de contact entre une personne et un objet métallique hors tension porté à un potentiel différent de celui de la personne par le champ magnétique ou électrique (*tableau 7*).
- Dysfonctionnement et dérèglement des implants actifs.
- Échauffement des implants passifs ferromagnétiques ou création de micro-décharges entraînant des picotements ou une coagulation locale.
- Amorçage de dispositifs électriques de mise à feu (détonateurs).
- Incendies et explosions.
- Autres.

Tableau 7
Effets biologiques et sanitaires induits lors du contact entre une personne et un objet métallique dans un champ électromagnétique (100 kHz-110 MHz)

Effets biologiques et sanitaires	Courants de contact
Seuil de perception	de 25 à 40 mA
Seuil de la douleur	de 30 à 55 mA
Choc douloureux/seuil de relaxation musculaire	110 à 225 mA
Choc sévère/difficultés à respirer	160 à 320 mA

2.4. Fréquences comprises entre 100 kHz et 10 MHz

Dans ce domaine de fréquence, les effets vus précédemment pour les fréquences inférieures à 100 kHz et pour celles supérieures à 10 MHz sont à prendre en compte simultanément. Ce domaine est appelé celui des « fréquences intermédiaires ».

2.5. Fil rouge

Si les champs électromagnétiques émis par les huit catégories d'équipements sont importants, les effets qu'ils sont susceptibles de créer sont résumés dans le *tableau 8*.

Tableau 8
Effets potentiels dus aux équipements des huit applications

Application	Fréquence (Hz)	Effets potentiels
Soudage par résistance	Toutes	<ul style="list-style-type: none"> • Effets biologiques mineurs • Magnétosphènes • Effets sur le système nerveux • Stimulation des tissus excitables
Magnétiseurs démagnétiseurs	50	
Induction	< 10 kHz	
Magnétoscopie	Statique	<u>Direct :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Vertiges, nausées, goût métallique <u>Indirect :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Projection d'objets ferromagnétiques • Dysfonctionnement et dérèglement des dispositifs médicaux implantables actifs (stimulateurs cardiaques, pompes à insuline, prothèses auditives...) • Déplacement ou descellement des implants passifs ferromagnétiques
	50	<ul style="list-style-type: none"> • Effets biologiques mineurs • Magnétosphènes • Effets sur le système nerveux • Stimulation des tissus excitables • Extrasystoles et fibrillation ventriculaire
Chauffage, soudage par pertes diélectriques	5 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • Effets biologiques mineurs • Magnétosphènes • Effets sur le système nerveux • Stimulation des tissus excitables • Extrasystoles et fibrillation ventriculaire
	13,6 MHz, 27 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • Effet thermique • Dysfonctionnement et dérèglement des implants actifs • Échauffement des implants passifs ferromagnétiques ou création de micro-décharges entraînant des picotements ou une coagulation locale • Amorçage de dispositifs électriques de mise à feu (détonateurs) • Incendies et explosions • Autres
Électrolyse	Statique	<u>Direct :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Vertiges, nausées, goût métallique <u>Indirect :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Projection d'objets ferromagnétiques • Dysfonctionnement et dérèglement des dispositifs médicaux implantables actifs (stimulateurs cardiaques, pompes à insuline, prothèses auditives...) • Déplacement ou descellement des implants passifs ferromagnétiques
	< 300 Hz	<ul style="list-style-type: none"> • Effets biologiques mineurs • Magnétosphènes • Effets sur le système nerveux • Stimulation des tissus excitables • Extrasystoles et fibrillation ventriculaire
IRM/RMN	Statique	<u>Direct :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Vertiges, nausées, goût métallique <u>Indirect :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Déplacement ou descellement des implants passifs ferromagnétiques • Projection d'objets ferromagnétiques • Dysfonctionnement et dérèglement des dispositifs médicaux implantables actifs (stimulateurs cardiaques, pompes à insuline, prothèses auditives...)
Fours micro-ondes	2,4 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Effet thermique • Dysfonctionnement et dérèglement des implants actifs • Échauffement des implants passifs ferromagnétiques ou création de micro-décharges entraînant des picotements ou une coagulation locale • Amorçage de dispositifs électriques de mise à feu (détonateurs) • Incendies et explosions • Autres

NB : les normes 45502-1 et 45502-2 imposent depuis 2004 que les dispositifs médicaux implantables actifs (DMIA) ne puissent pas être affectés par les niveaux indiqués en référence dans les normes 50527-1 et 50527-2-1.

3. Réglementation en milieu professionnel

Il n'y a pas actuellement de réglementation spécifique en milieu professionnel en France concernant les champs électromagnétiques. La directive européenne 2004/40/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) est en cours de révision. En attendant, nous préconisons de s'y référer pour réaliser l'évaluation de l'exposition, une nouvelle version devra être transposée en droit français avant fin 2013. Il est donc fortement conseillé d'anticiper la réglementation française pour la santé et la sécurité des travailleurs pour l'intégrer dans la prise de décision concernant les futures acquisitions de matériels dans l'entreprise.

En ce qui concerne l'exposition du public, la recommandation 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz), fixe des restrictions de base exprimées en termes de

DAS (quantité d'énergie transmise par les rayonnements électromagnétiques à l'intérieur du corps). Des niveaux d'exposition de référence relatifs aux valeurs de champ électromagnétique mesurées à l'extérieur du corps garantissent le respect des restrictions de base.

3.1. Directive 2004/40/CE

Cette directive, en cours de révision, est une directive sociale qui s'inscrit dans le cadre de la directive 89/391/CEE concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs.

Elle définit des valeurs déclenchant l'action (VDA) et des valeurs limites d'exposition (VLE) : les VLE sont liées aux effets biologiques et sanitaires observés, mais ne sont pas mesurables, ni calculables facilement (*tableau 9*). Pour y remédier, des VDA liées aux VLE ont été définies (*tableaux 10 et 11*).

Tableau 9
Principe de détermination des VLE et des VDA

Effet biologique ou sanitaire	VLE	VDA	Commentaires
S : seuil d'apparition de l'effet	$VLE = S / 10$ Facteur de sécurité : 10	Définies à partir de modèles mathématiques de façon à respecter les VLE « avec une certaine marge »	Cette marge induit que le dépassement des VDA n'entraîne pas systématiquement le dépassement des VLE.

Tableau 10
Liens entre les VLE et les effets biologiques ou sanitaires

VLE	Densité de courant induit J	Débit d'absorption spécifique DAS « corps entier »	DAS « tête et tronc »	DAS « membres »	Densité de puissance S
Effet biologique ou sanitaire	Perturbation du système nerveux central (SNC)	Effet thermique interne	Effet thermique interne	Effet thermique interne	Effet thermique en surface du corps
Localisation corporelle de la restriction	SNC	Corps entier	Tête et tronc	Membres	Corps

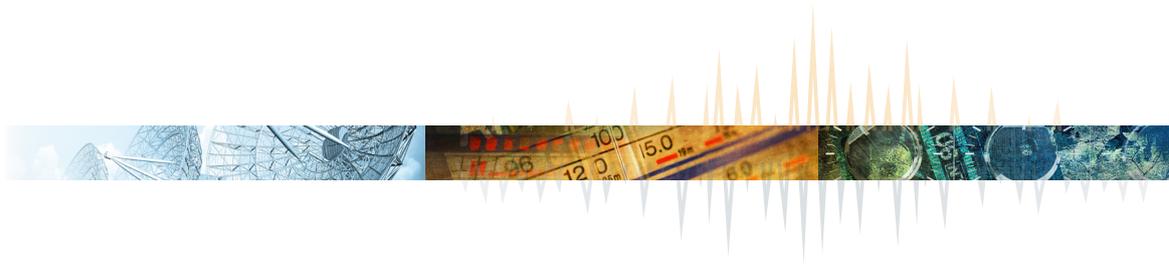


Tableau 11
Valeurs déclenchant l'action (VDA)

Gamme de fréquences f	Intensité de champ électrique E (V/m)	Intensité de champ magnétique H (A/m)	Induction magnétique B (μT)	Densité de puissance équivalente onde plane S_{eq} (W/m ²)	Courant de contact I_c (mA)	Courant induit dans les extrémités I_L (mA)
Jusqu'à 1 Hz	–	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$			
1 - 8 Hz	20 000	$1,63 \cdot 10^5 / f^2$	$2 \cdot 10^5 / f^2$	-	1,0	-
8 - 25 Hz		$2 \cdot 10^4 / f$	$2,5 \cdot 10^4 / f$			
0,025 - 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f			
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7		0,4/f	
2,5 - 65 kHz		1 600/f	2 000/f			
65 - 100 kHz		1,6/f	2/f			
0,1 - 1 MHz	610/f				40	
1 - 10 MHz						
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10		
110 - 400 MHz						
400 - 2 000 MHz	$3 \cdot f^{1/2}$	$0,008 \cdot f^{1/2}$	$0,01 \cdot f^{1/2}$	f/40	-	-
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50		

L'exposition des salariés ne doit pas amener à des valeurs dépassant les VLE.

Remarque

Les valeurs des grandeurs associées aux VLE ne sont accessibles que par modélisation numérique ou par exposimétrie, en plongeant une sonde dans un mannequin appelé fantôme, rempli d'un constituant censé avoir les caractéristiques physiques moyennes du corps humain.

Des valeurs limites d'exposition ont également été définies concernant l'exposition du public dans la recommandation 1999/519/CE. Les termes « restrictions de base » et « niveaux de référence » y sont employés en lieu et place de « VLE » et « VDA » respectivement.

3.2. Obligations du chef d'entreprise en santé et sécurité au travail

L'employeur est tenu à une obligation de résultat en termes de santé et de sécurité des travailleurs. Il doit :

- assurer la santé et la sécurité des travailleurs (art. L. 4121-1) ;
- mettre en œuvre les principes généraux de prévention des risques professionnels (art. L. 4121-2) ;
- procéder à l'évaluation des risques (art. L. 4121-3) ;
- intégrer des résultats de l'évaluation des risques dans le document unique de l'entreprise (art. R. 4121-1) ;

- reconsidérer l'évaluation des risques au minimum une fois par an, et dès qu'un aménagement important modifie les conditions d'hygiène et de sécurité ou qu'un accident du travail ou une maladie professionnelle survient (art. R. 4121-2) ;
- établir deux documents, après consultation du CHSCT (art. R. 4121-3) :
 - un programme annuel de prévention des risques professionnels,
 - un rapport écrit présentant la situation générale de l'entreprise en matière d'hygiène, de sécurité et de conditions de travail ainsi que les actions menées en ce domaine l'année écoulée ;
- dispenser une information aux travailleurs sur les risques pour la santé et la sécurité et les mesures prises pour y remédier (art. L 4141-1) ;
- organiser une formation pratique et appropriée à la sécurité pour les nouveaux travailleurs, les travailleurs qui changent de poste de travail ou de technique, les salariés temporaires non qualifiés (art. L 4141-2) ;
- mettre en place une signalisation dès qu'un risque ne peut être évité ou prévenu (art. R. 4224-20).

3.3. Information et formation des salariés

L'information porte en particulier sur la notion de champ électromagnétique ; sur les risques liés à une exposition aux champs électromagnétiques en général et, plus particulièrement, à ceux émis par l'équipement du poste de travail ; sur la réglementation et les concepts de valeur déclenchant l'action et de valeur limite d'exposition ; sur l'utilité des mesures de sécurité prescrites et la signalisation de sécurité ; sur les signes à surveiller pouvant être une conséquence de l'exposition, comme des picotements ou des échauffements pour les porteurs d'implants passifs ; sur l'intérêt des femmes à signaler leur grossesse ; sur le rôle du médecin du travail, qui peut lui-même fournir des informations.

Où trouver de l'information ?

Les services de prévention des CARSAT-CRAM dispensent, au sein des entreprises, des formations liées aux champs électromagnétiques.

Des plaquettes informatives peuvent être remises aux salariés, qu'elles soient réalisées par l'entreprise, par l'INRS ou issues d'une autre source validée.

Remarque

L'information et la formation sur les risques liés aux champs électromagnétiques sont délicates à faire :

- les champs électromagnétiques ne sont pas perceptibles par nos sens, ce qui peut entraîner une représentation « magique » de cet agent physique ;
- un fort débat public existe pour certains équipements portant notamment sur les effets à long terme d'une exposition chronique aux champs électromagnétiques, or la directive 2004/40/CE aborde les effets à court terme ;
- peu de salariés ont ressenti des effets liés à l'exposition aux champs électromagnétiques et le risque associé ne paraît pas important ;
- les effets induits comme les mouvements intempestifs peuvent être perçus comme plus amusants que dangereux.

3.4. Surveillance de la santé

Aucune contre-indication médicale n'est pour le moment définie concernant le travail exposant à des champs électromagnétiques. Pour autant, une surveillance médicale renforcée est mise en place pour les salariés exposés présentant des risques particuliers : salariés porteurs d'implants passifs ou actifs, femmes enceintes.

Dans le cas, rare et spécifique des fortes puissances, d'une exposition accidentelle aiguë au rayonnement radiofréquence ou hyperfréquence, une hyperthermie localisée peut entraîner une nécrose tissulaire interne. La nécrose n'est pas toujours perceptible et un suivi médical de deux à trois semaines s'impose alors.

3.5. Fil rouge

La plupart des entreprises n'ont pas les moyens techniques de quantifier les grandeurs associées aux VLE. Aussi, seules sont prises en compte ci-après les VDA qui, dans ce cadre, sont interprétées comme des valeurs qu'il convient de ne pas dépasser pour être sûr de respecter les VLE.

4. Sources de champs électromagnétiques en milieu professionnel

4.1. Généralités

Selon la principale fréquence d'émission, on peut répartir les différentes applications industrielles en six grandes familles (voir la brochure « *Les sources de rayonnement non ionisants* », ED 4202, disponible sur le site www.inrs.fr) (tableau 12).

4.2. Fil rouge

Soudage par résistance

Cette catégorie d'équipements appartient aux familles « Statique » et « ELF ». Lors du soudage par résistance, les pièces à souder sont serrées entre deux électrodes de cuivre énergiquement refroidies. Au passage du courant à basse tension, il y a échauffement par effet Joule dans toute l'épaisseur des pièces au droit des électrodes. Les résistances de contact électrode-pièce devant être les plus faibles possible, l'échauffement maximal se produit à l'interface des pièces et, à la faveur de ce contact, il se forme un noyau de métal liquide maintenu en place grâce à l'effort exercé par les électrodes.

Magnétiseurs, démagnétiseurs

Cette catégorie d'équipements appartient à la famille « ELF ». Cette technique consiste à augmenter ou à réduire l'aimantation rémanente de pièces ferromagnétiques pour réaliser ensuite des contrôles non destructifs.

Induction

Cette catégorie d'équipements appartient aux familles « ELF » et « Moyennes fréquences ».

Le chauffage par induction électromagnétique est une technique électrothermique permettant de chauffer des matériaux conducteurs d'électricité, sans contact matériel avec une source électrique. Si une pièce conductrice de l'électricité est placée à l'intérieur d'une bobine, des courants induits par le champ magnétique s'y développent (loi de Lenz) et chauffent la pièce par effet Joule (voir la fiche « *Le chauffage par induction électromagnétique* », ED 4211, INRS).

Magnétoscopie

Cette catégorie d'équipements appartient à la famille « ELF ». La magnétoscopie est une technique de contrôle non destructif qui consiste à créer un flux magnétique intense à l'intérieur d'un matériau ferromagnétique. Lors de la présence d'un défaut sur son trajet, le flux magnétique est dévié et crée une fuite qui, en attirant les particules (colorées ou fluorescentes) d'un produit révélateur, fournit une signature particulière du défaut.

Chauffage, soudage par pertes diélectriques

Cette catégorie appartient à la famille « Hautes fréquences ». Elle utilise le principe du chauffage par pertes diélectriques :

Tableau 12

Les six familles de sources de rayonnements électromagnétiques

Famille	Exemples de sources
Statique 0 Hz	Cuve d'électrolyse, moteur linéaire des centres d'usinage à grande vitesse, machine à souder par étincelage, IRM-RMN...
ELF (extremely low frequency) 50 Hz	Distribution de l'électricité, soudage à l'arc, soudage par résistance, magnétoscopie, magnétiseur, démagnétiseur...
Moyennes fréquences de 50 Hz à quelques MHz	Électrothermie par induction : four de fusion, séchage de produits en poudre...
Hautes fréquences quelques dizaines de MHz	Électrothermie par pertes diélectriques : séchage et formage de pièces en bois, soudage des matières plastiques...
Hyperfréquences 2,45 GHz	Four industriel à micro-ondes
Télécommunications de quelques MHz à quelques GHz	Radiodiffusion, TV, téléphonie mobile, Wi-Fi...

un champ électrique alternatif haute fréquence élève la température des matériaux isolants par friction intermoléculaire. Les presses HF sont généralement utilisées pour souder des pièces de plastique entre elles. Ces plastiques sont placés sur un plateau entre deux électrodes et l'électrode supérieure vient faire pression (voir la fiche « *Les machines utilisant le chauffage par pertes diélectriques* », ED 4205, INRS).

Electrolyse industrielle

Cette catégorie d'équipements appartient aux familles « Statique » et « ELF ». L'électrolyse est un processus d'échange au cours duquel l'énergie électrique est transformée en énergie chimique. La réaction a lieu dans une solution (électrolyte) dans laquelle plongent deux conducteurs reliés à un générateur de courant électrique.

IRM-RMN

Cette catégorie d'équipements appartient à la famille « Statique ». L'IRM est une technique de diagnostic médical puissante qui fournit des images tridimensionnelles et en coupe de grande précision anatomique. L'IRM est une technique radiologique récente, non invasive, basée

sur le phénomène physique de résonance magnétique nucléaire. Il s'agit d'observer simplement la résonance des protons de l'eau contenus dans l'organisme (voir la fiche « *L'imagerie par résonance magnétique* », ED 4209, INRS).

Chauffage micro-ondes

Cette catégorie appartient à la famille « Hyperfréquences ». Les molécules d'eau du matériau à chauffer, soumises aux micro-ondes, s'orientent en direction du champ électrique qui compose ces ondes. Ce champ étant alternatif, les molécules d'eau s'orientent à la fréquence de l'onde émise (2,45 GHz) dans un sens puis dans l'autre, entraînant une élévation de température dans le matériau. Le choix de la fréquence des micro-ondes ressort d'un juste compromis entre le réchauffement du matériau et la pénétration de l'onde dans celui-ci.

Le *tableau 13* donne une estimation, pour chaque application, du nombre d'équipements susceptibles de rayonner à des valeurs voisines des VDA définies par la directive 2004/40/CE. Ces chiffres permettent de se faire une idée du nombre de personnes qui pourraient être exposées.

Tableau 13

Estimation du nombre d'équipements susceptibles de rayonner et répartition par application

Applications	Nombre d'équipements	Répartition
Soudage par résistance	75 000	55,2 %
Magnétiseurs, démagnétiseurs	30 000	22,2 %
Induction	13 000	9,4 %
Magnétoscopie	11 000	7,9 %
Chauffage, soudage par pertes diélectriques	5 000	3,5 %
Électrolyse industrielle	1 000	0,8 %
IRM-RMN	1 000	0,7 %
Four micro-ondes	300	0,2 %

5. Évaluation simplifiée des risques

Le document unique devra faire mention du risque « champ électromagnétique » même pour les équipements électriques ne nécessitant pas une évaluation approfondie.

5.1. Recensement et caractérisation rapide des équipements

Tous les équipements électriques sont recensés, ainsi que les câbles d'aménée de courant électrique dans le cas de fortes intensités. La fréquence, l'intensité, la tension et la puissance utilisées par les équipements sont relevées.

Où trouver les informations ?

Ces données sont généralement disponibles dans la documentation fournie par le constructeur, sur la plaque signalétique de la machine ou auprès du service maintenance.

Remarque

Il faut vérifier que le matériel considéré est utilisé dans les conditions de fonctionnement prévues par le constructeur, par exemple que d'éventuels blindages n'ont pas été retirés.

5.2. Comparaison à une liste générique d'équipements peu émettants

Les équipements électriques recensés sont comparés aux classements établis par :

- la norme EN 50499 « Procédure pour l'évaluation des travailleurs aux champs électromagnétiques » qui liste les équipements considérés comme peu émettants et ne nécessitant pas d'évaluation (tableaux 14 à 17 de la norme), par exemple les matériels d'éclairage, les équipements de traitement de l'information (ordinateurs), les équipements de bureau, les stations de base pour les téléphones sans fil DECT et les équipements nécessitant probablement une évaluation (tableau 18 de la norme) comme les équipements d'électrolyse industrielle, de chauffage par induction, les magnétiseurs et démagnétiseurs, les équipements de soudage par pertes diélectriques ;



- le dossier web « Champs électromagnétiques » de l'INRS (www.inrs.fr).

Les équipements des tableaux 14, 15, 16 et 17 de la norme, utilisés dans un mode normal, sont *a priori* exemptés d'une évaluation des risques plus approfondie.

Néanmoins, une évaluation approfondie des risques sera à faire dans les cas suivants :

- le signalement par les salariés de la présence de phénomènes physiques (étincelles entre matériaux conducteurs, dérèglement de montres, déplacement d'objets...) ou biologiques (échauffement...) pouvant révéler l'existence de champs électromagnétiques associés ;
- la présence de pictogrammes, présentés dans le chapitre 9, apposés par le constructeur sur le châssis d'un équipement ;
- la présence d'instructions de sécurité liées aux champs électromagnétiques dans le livret fourni par le constructeur ;
- tous les équipements électriques figurant dans le tableau 18 de la norme.

5.3. Équipements marqués CE

Le marquage CE ne garantit pas le respect des valeurs d'action et limites préconisées par la directive 2004/40/CE.

Les équipements marqués CE sont généralement évalués par rapport aux directives « basse tension », compatibilité électromagnétique et R&TTE pour les appareils de télécommunication. On trouve les normes employées dans la documentation.



5.4 Fil rouge

Les huit applications listées au paragraphe 1.6 font partie des applications nécessitant une évaluation approfondie. Un modèle de fiche des informations à relever est donné (figure 3, chapitre 6) pour la catégorie du « chauffage, soudage par pertes diélectriques ».

Tableau 14
Exemples d'équipements (tableau 1, norme EN 50499)

Désignation du lieu de travail	Exemples de dispositifs électriques	Remarques
Lieux de travail accessibles au public couverts par le § 4.3 de la directive 2004/40/CE		Les lieux de travail accessibles au public et conformes aux limites d'exposition indiquées dans la recommandation du Conseil européen 1999/519/CE sont réputés conformes. « L'évaluation, la mesure ou les calculs mentionnés aux paragraphes 1 et 2 ne doivent pas nécessairement être effectués dans des lieux de travail ouverts au public à condition qu'une évaluation ait déjà été menée à bien conformément aux dispositions de la recommandation du Conseil 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz) et que les restrictions qui y figurent soient respectées pour les travailleurs et que les risques pour la sécurité aient été exclus », directive 2004/40/CE, § 4.3
Tous les emplacements	Équipements marqués CE qui ont été évalués en utilisant une ou plusieurs normes listées dans l'annexe A de la norme EN 50499.	
Tous les emplacements	Équipements mis sur le marché européen en conformité avec la recommandation européenne 1999/519/CE, comme cela est requis par les directives pertinentes, en particulier en conformité avec leurs normes harmonisées listées dans le JOEU. Des exemples sont donnés dans l'annexe A de la norme EN 50499.	Certains équipements mis sur le marché européen peuvent aussi être conformes à la recommandation européenne 1999/519/CE, bien qu'ils ne possèdent pas le marquage CE, par exemple s'ils font partie d'une installation.
Tous les emplacements	Matériels d'éclairage	Les équipements d'éclairages micro-ondes et radiofréquences sont exclus.
Tous les emplacements	Ordinateurs et équipements de traitement de l'information	
Tous les emplacements	Équipements de bureau	Les effaceurs de bandes magnétiques peuvent nécessiter une évaluation.
Tous les emplacements	Téléphones mobiles et téléphones sans fil	
Tous les emplacements	Radio bilatérales simultanées	Uniquement les types d'une puissance d'émission inférieure à 20 mW.
Tous les emplacements	Stations de base pour les téléphones sans fil DECT	
Tous les emplacements	Réseaux et équipements de communication autres que « sans fil »	
Tous les emplacements	Outils portables et transportables	Par exemple, couverts par le domaine d'application de la EN 60745-1 et de la EN 61029-1 (voir l'annexe A de la norme EN 50499).
Tous les emplacements	Outils de chauffage portables	Par exemple, couverts par le domaine d'application de la EN 60335-2-45 (exemple : pistolets à colle, pistolets chauffants) (voir l'annexe A de la norme EN 50499).
Tous les emplacements	Chargeurs de batteries	Par exemple, couverts par le domaine d'application de la EN 60335-2-29 (voir l'annexe A de la norme EN 50499).
Tous les emplacements	Appareils électriques de jardinage	

Suite tableau 14

Désignation du lieu de travail	Exemples de dispositifs électriques	Remarques
Tous les emplacements	Équipements audio et vidéo	Des types spéciaux utilisant des émetteurs radio typiquement utilisés dans l'industrie de radiodiffusion peuvent nécessiter une évaluation.
Tous les emplacements	Équipements alimentés sur batterie, non inclus dans les émetteurs de radiofréquence	
Tous les emplacements	Équipements de chauffage de locaux	
Tous les emplacements	Tous les équipements non électriques	
Tous les emplacements	<p>Réseaux de distribution électrique sur les lieux de travail et circuits de distribution et transmission électriques traversant ou passant au-dessus du lieu de travail.</p> <p>Pour les expositions aux champs magnétiques, les équipements suivants sont conformes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • toutes les installations électriques ayant un courant de phase assigné de 100 A ou moins ; • tous les circuits individuels dans une installation, ayant un courant de phase assigné de 100 A ou moins ; • tous les circuits dont les conducteurs sont proches les uns des autres et qui ont un courant net de 100 A ou moins ; • tous les composants d'un réseau qui sont pris en compte dans la norme EN 50499 (y compris les câblages, les appareillages de connexion, les transformateurs, etc.) ; • tous les conducteurs aériens nus quelle que soit la tension. <p>Pour les expositions aux champs électriques, ce qui suit est conforme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • tout circuit de câbles enterrés ou isolés, quelle que soit la tension assignée ; • tout circuit aérien nu de tension assignée inférieure ou égale à 100 kV, surplombant le lieu de travail. 	<p>Les critères donnés ici pour la démonstration de la conformité avec les limites d'exposition sont basés sur la démonstration que l'exposition est inférieure aux limites les plus basses de la recommandation CE (1999) pour l'exposition du public aux champs électromagnétiques. Ces critères sont suffisants pour la démonstration de la conformité de la majorité des lieux de travail.</p> <p>Les critères d'évaluation, basés directement sur les limites d'exposition du lieu de travail de la directive CE, sont donnés en annexe F. Ils utilisent 500 A au lieu de 100 A et 200 kV au lieu de 100 kV. Ainsi, la liste de contrôle de F.2.4 peut être utilisée pour démontrer la conformité pour les champs magnétiques et celle de F.1 peut être utilisée pour démontrer la conformité pour les champs électriques, dans tout lieu de travail.</p>
Tous les emplacements	Instrumentation, équipements de mesure et de contrôle-commande	
Tous les emplacements	Appareils électroménagers	Les appareils professionnels tels que les appareils de cuisson, les machines à laver, les fours micro-ondes... utilisés dans les restaurants, les boutiques... sont inclus. Des équipements professionnels de chauffage par induction peuvent être exclus.
Tous les emplacements	Ordinateur et matériel de traitement de l'information comprenant des communications sans fil	
Tous les emplacements	Émetteurs alimentés par batterie	Les émetteurs ayant une puissance de sortie supérieure à 100 mW peuvent nécessiter une évaluation. Si une personne porte plusieurs émetteurs actifs, et si la somme des puissances de sortie est supérieure à 100 mW, ceci peut nécessiter une évaluation.
Tous les emplacements	Antennes de stations de base	Une évaluation est pertinente uniquement si des travailleurs peuvent se situer à proximité de l'antenne, à une distance inférieure à la distance de sécurité définie en relation avec les valeurs limites d'exposition applicables au public.
Tous les emplacements	Tous les équipements médicaux n'utilisant pas de sources RF	



6. Évaluation approfondie des risques : estimation de l'exposition

6.1. Mesure des champs électromagnétiques émis

Il est utile de définir auparavant les caractéristiques suivantes pour s'assurer que le matériel de mesure est adapté : présence d'une modulation ou non de l'onde, émission continue ou par impulsions, fréquence principale d'émission (déjà renseignée lors du recensement des équipements électriques).

La zone de travail peut être soumise à une seule (monofréquence) ou plusieurs fréquences (multifréquences). Ce dernier cas apparaît quand un équipement émet, par exemple, des harmoniques de la fréquence principale ou quand plusieurs équipements émettent à des fréquences différentes. Ces fréquences supplémentaires sont déterminées par un analyseur de spectre et les intensités respectives des champs sont mesurées si elles sont détectables.

Où trouver les informations ?

La documentation fournie par le constructeur peut donner des indications sur la forme de l'onde.

Réalisation des mesures

Les appareils de mesure sont encore onéreux et la réalisation des mesures et leur interprétation demandent une certaine expérience de par la grande variété et la complexité des signaux à analyser.

C'est pourquoi il est préférable de faire appel à des organismes spécialisés, même s'il n'existe pas d'accréditation pour la réalisation de mesures en milieu professionnel. Ces organismes sont :

- les centres de mesures physiques (CMP) des Caisse d'assurance retraite et de santé au travail (CARSAT) ou l'INRS après demande auprès de son agent de secteur ;
- des organismes privés, dont une liste par région est disponible sur le site internet de l'INERIS.

La liste des organismes accrédités COFRAC pour réaliser des mesures de champs électromagnétiques conformément au protocole de mesure de l'ANFR est accessible sur le site www.cofrac.fr en effectuant une recherche par programme en tapant « E in situ » dans le champ dédié. Cette liste est mise à jour toutes les semaines.

6.2. Analyse du poste de travail

L'analyse du poste de travail est réalisée selon des considérations de travail réel, c'est-à-dire en observant les salariés à leur poste de travail et en discutant avec eux des divers gestes ou déplacements qu'ils sont susceptibles de faire.

En production

Cette analyse doit renseigner les points suivants :

- fonctionnement de l'équipement selon l'usage prévu par le constructeur (exemple : présence des sécurités prévues par le constructeur) ;
- fonctionnement réel de l'équipement ;
- distance à la source du travailleur ;
- partie du corps exposée (corps entier, mains, tête...) ;
- temps d'exposition maximale pour les fréquences supérieures à 100 kHz ;
- temps entre deux expositions pour les fréquences supérieures à 100 kHz.

En maintenance

Les mêmes points doivent être renseignés, en tenant compte des interventions habituelles et exceptionnelles du personnel de maintenance.

6.3. Exposition maximale au poste de travail

En production

L'estimation de l'exposition est réalisée en conditions d'émission maximale générée en production par l'équipement concerné.

En maintenance

Le principe est le même, en tenant compte, par exemple, de l'enlèvement de blindages pour accéder à l'intérieur de la machine.

Remarque

Dans un cycle de production, l'équipement émet un rayonnement électromagnétique dont la puissance varie. Selon la production réalisée, l'intensité de l'émission diffère également. Dans l'évaluation de l'exposition, est retenue l'intensité maximale du champ à laquelle le travailleur est effectivement exposé à son poste de travail.



Tableau 15
Exemples d'équipements (tableau 2, norme EN 50499)

Type d'équipement	Remarques
Électrolyse industrielle	Type à courant continu et type à courant alternatif
Soudure et fusion électrique	
Chauffage par induction	
Chauffage diélectrique	
Soudage diélectrique	
Magnétiseurs, démagnétiseurs industriels	Y compris les effaceurs de bandes en lots Non valide pour les petits équipements portés à la main
Éclairage micro-ondes et radiofréquence	
Dispositifs à plasma RF	Y compris les dépôts sous vide et sputtering
Diathermie	Tout matériel médical utilisant une source RF de puissance élevée (> 100 mW)
Système électrique de détection de fissure	
Radars de haute puissance	Typiquement au-dessus de 100 mW efficace (< 20 W crête)
Pilotes automatiques de transport en commun	Travaux en cours au TC9X WG10 basés sur la recommandation du Conseil
Matériel d'imagerie par résonance magnétique	
Chauffage et séchage industriels micro-ondes	
Antennes de stations de base	Une évaluation est nécessaire uniquement si des travailleurs peuvent approcher de l'antenne à une distance inférieure à la distance de sécurité définie
Réseaux de distribution électrique sur les lieux de travail et circuits de distribution et de transmission électriques traversant ou passant au-dessus du lieu de travail qui ne satisfont pas aux critères donnés dans le tableau 1 de la norme EN 50499	Les critères d'évaluation sont donnés en annexe F de la norme EN 50499

Où trouver les informations ?

Le constructeur peut fournir des informations indiquant dans quelle configuration l'émission est maximale.

Les productions demandant le courant ou la tension la plus forte sont celles qui génèrent les champs d'intensité maximale.

6.4. Détermination des VDA

Cas d'une émission monofréquence

L'équipement émet à une seule fréquence, celle de sa source d'énergie électrique ou de rayonnement. Les VDA définies pour cette seule fréquence sont à déterminer.

Cas d'une émission multifréquences

Les niveaux de champ mesurés sont comparés à la VDA la plus restrictive dans la bande des fréquences mesurées.

Si une des grandeurs est supérieure ou de l'ordre de la VDA, aucune conclusion à ce niveau de l'évaluation des risques ne peut être portée sur le respect de la VLE correspondante. Comme les PME/PMI n'ont pas les moyens de déterminer les VLE, elles doivent engager des actions de réduction de l'exposition afin d'obtenir des valeurs d'exposition inférieures aux VDA.

6.5. Fil rouge

Une étude réalisée par l'INRS et les centres de mesures physiques a permis de recueillir plus de 600 fiches concernant les huit applications définies au paragraphe 1.6.

En tenant compte de l'expérience acquise dans les entreprises, le *tableau 16* spécifie les grandeurs à mesurer pour chaque application.

L'ensemble des fiches de mesure a été collecté et analysé par l'INRS. Pour chacun des résultats, la valeur de la grandeur mesurée (intensité du champ électrique, du champ magnétique, de l'induction magnétique, du courant induit...) a été comparée à la valeur déclenchant l'action (VDA) définie par la directive européenne 2004/40/CE et un indice de sévérité R égal au rapport entre la valeur de cette grandeur et celle de la VDA dans la même unité a été calculé.

$$R = \frac{\text{valeur de la grandeur mesurée}}{\text{valeur déclenchant l'action (VDA)}}$$

Si cet indice de sévérité R est supérieur à 1, la valeur mesurée de la grandeur n'est pas conforme aux prescriptions de la directive.

Tableau 16
Détermination des grandeurs à mesurer en fonction des applications

Applications	Grandeurs mesurées				
	Champ électrique (V/m)	Champ magnétique (A/m) ou induction magnétique (μT)	Courant de contact (mA)	Densité surfacique de puissance (W/m ²)	Courant Induit (mA)
Soudage par résistance	X	X			
Magnétiseurs, démagnétiseurs		X			
Chauffage et soudage par induction	X	X			
Magnétoscopie		X			
Chauffage par pertes diélectriques	X		X		X
Électrolyse		X			
IRM-RMN		X			
Four micro-ondes	X			X	

Le calcul dans chaque catégorie des 10^e, 25^e, 50^e (valeur médiane), 75^e et 90^e percentiles permet, d'une part, de savoir si les opérateurs sont susceptibles d'être exposés à des intensités de champ électromagnétique ou de courant induit supérieures aux VDA dans telle ou telle famille d'équipements et, d'autre part, d'apprécier la sévérité de l'exposition au travers de la valeur médiane de l'indice de sévérité.

Les résultats des calculs par famille des 10^e, 25^e, 50^e (valeur médiane), 75^e et 90^e percentiles, calculés sur l'ensemble des fiches recueillies, sont donnés (en échelle logarithmique) sur la *figure 2*.

Cette présentation permet de constater que la valeur déclenchant l'action définie par la directive européenne 2004/40/CE est susceptible d'être dépassée pour 7 familles d'équipements sur 8.

Remarque

Le paramètre « durée d'exposition » intervient pour E, H, B et Seq dans la gamme des fréquences comprises entre 100 kHz et 10 GHz. Les VDA indiquées dans la directive 2004/40/CE sont moyennées sur 6 minutes. Pour une durée d'exposition supérieure à 6 minutes, les valeurs déclenchant l'action doivent être respectées.

Dans le cas d'une exposition de durée inférieure à 6 minutes, des niveaux d'exposition plus importants sont permis : des coefficients, déterminés à partir des durées d'exposition, sont appliqués aux valeurs déclenchant l'action, comme indiqué dans le *tableau 17*.

Pour le courant induit dans les mains ou dans une autre partie du corps, le temps d'exposition n'intervient pas.

Figure 2. 10^e, 25^e, 50^e (valeur médiane), 75^e et 90^e percentiles dans chaque famille d'équipements

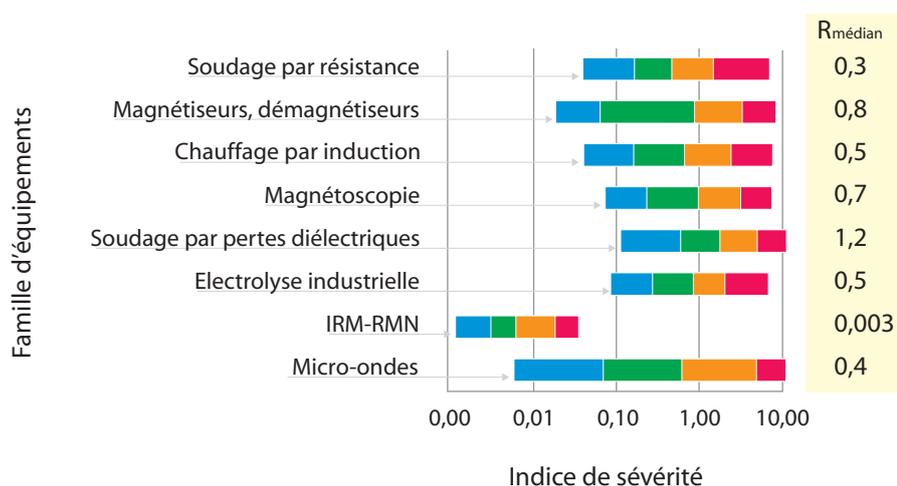


Tableau 17

Exemples de durées d'exposition et valeurs maximales des grandeurs physiques liées aux valeurs déclenchant l'action à la fréquence $f = 27$ MHz

Temps d'exposition	Coefficient multiplicateur	E (V.m ⁻¹)	H (A.m ⁻¹)	B (μT)
t ≥ 6 min	6/t=1 → VDA	61 (= VDA)	0,16 (= VDA)	0,2 (= VDA)
t = 3 min	6/t=2 → 2 ^{0,5} x VDA	86	0,22	0,28
t = 1 min 30 s	6/t=4 → 4 ^{0,5} x VDA	122	0,32	0,4
t = 1 min	6/t=6 → 6 ^{0,5} x VDA	149	0,39	0,49

Figure 3. Fiche de mesurages rayonnements électromagnétiques

Renseignements administratifs

N° fiche		Entreprise
Emetteur		Adresse
N° intervention		
Année d'intervention		
CTN		
N° de risque		Code postal

Équipement de travail

Catégorie	Chauffage et soudage par pertes diélectriques
Application	
Marque	
Type	
Modèle	
Année de fabrication	
N° de série	
Fréquence	27,12 MHz
Nature de l'émission	
Type de fonctionnement	
Présence opérateur	
Matériel de mesure utilisé	
Type	
Capteur	
Points de mesurage	

Outillage

Type	
Forme	
Dimensions (L x l x h) (m)	

Paramètres de réglage

Puissance (kW)	
Courant d'anode (A)	
Durée d'application (s)	
Durée de refroidissement (s)	
Productivité	

Matériau travaillé

Matière	
Caractéristique	

Résultats des mesurages

E _{max} =	
E _{moy} =	
Courant de contact =	
Densité de puissance : S =	
Seq =	

Sécurité

Systèmes de prévention mis en place	
Pictogramme RNI	NON

Niveau de référence (Directive 2004/40/CE)

Champ électrique E _{réf} =	61 V/m
Courant induit dans les extrémités I _L =	100 mA
Densité de puissance : S =	10 W/m ²
Calcul de H (ou de B) :	

7. Évaluation approfondie des risques : les effets indirects



7.1. Contact avec un objet métallique placé dans le champ électromagnétique

Les « bonnes pratiques » consistent à éviter l'utilisation d'objets métalliques en choisissant des matières isolantes et à mettre à la terre ceux qui ne peuvent pas être remplacés en vérifiant que l'ensemble des éléments métalliques d'un même équipement sont bien électriquement reliés entre eux.

7.2. Projection d'objets ferromagnétiques

Ce risque existe dès la présence d'un champ magnétique statique supérieur à une valeur de l'ordre de 0,5 mT (cette valeur dépend du poids de l'objet en question). Les bonnes pratiques consistent à éviter d'utiliser des objets ferromagnétiques dans la zone de travail où est présent ce champ magnétique statique.

7.3. Amorçage de dispositifs électriques de mise à feu (détonateurs)

Ce risque est traité lors de l'évaluation des risques réalisée pour ce type de matériel. Le rapport technique du

CENELEC CLC/TR 50426:2004 « *Évaluation de la création par inadvertance de dispositifs électro-explosifs par pont métallique, par rayonnement de radiofréquence – Guide* » est disponible.

7.4. Incendies et explosions

Ce risque est pris en compte lors de l'évaluation des risques liés aux atmosphères explosives, suite à la transposition de la directive 1999/92/CE dite ATEX. Le CENELEC a produit le rapport technique CLC/TR 50427:2004 « *Évaluation des risques d'inflammation des atmosphères inflammables par des rayonnements de radiofréquence – Guide* ».

Plusieurs documents sur le sujet ont été publiés et sont disponibles sur le site de l'INRS.

Remarque

Les risques d'amorçage de détonateurs ou d'inflammation d'atmosphères inflammables sont spécifiques et peu d'entreprises sont concernées par ces risques.

8. Évaluation approfondie des risques : les salariés à risques particuliers

Avec le concours du médecin du travail, l'employeur prend les précautions qu'il juge nécessaires suite à l'évaluation des risques liés à l'exposition de certains salariés. Les niveaux d'exposition « public » définis dans la recommandation européenne peuvent être utilisés, car ils ont été déterminés par rapport à la population générale, présentant des états de santé divers. Toutefois, le cas de chaque salarié à risque particulier doit être traité de façon individuelle.

Le chef d'entreprise tient compte des salariés intérimaires et de ceux présents de par la coactivité.

8.1. Salariés porteurs de dispositifs médicaux implantables actifs (DMIA)

Pour les salariés nouvellement implantés, l'attribution d'un poste de travail exposant aux champs électromagnétiques nécessite une étude préalable.

Une évaluation des risques au sein de l'entreprise est nécessaire. C'est au chef d'entreprise, responsable de la sécurité de ses salariés, de l'effectuer.

Il s'agira :

- d'identifier les postes de travail à risque,
- d'évaluer l'exposition du salarié en caractérisant par des mesures les champs électromagnétiques au(x) poste(s) de travail (intensité, type, fréquence...). L'entreprise peut dans ce cas se faire aider par un organisme de mesure compétent.

Par exemple, une collaboration étroite doit s'engager entre :

- le médecin du travail qui a la connaissance du poste de travail et qui doit se prononcer sur l'aptitude du salarié,
- le médecin spécialiste qui a recommandé l'implantation du DMIA,
- le fournisseur du DMIA qui connaît les performances techniques de son matériel,
- le chef d'entreprise, aidé par l'organisme de mesure pour la quantification des niveaux de champs électromagnétiques au(x) poste(s) de travail.

En associant compétences techniques et médicales, ce partenariat doit permettre de se prononcer sur l'aptitude du salarié implanté à retrouver son poste de travail, ou sur les mesures à adopter afin qu'il puisse réintégrer son poste.

Une mise en situation réelle au poste de travail, médicalement encadrée, de ce porteur de DMIA peut également aider à vérifier la compatibilité de l'implant

par rapport à l'environnement de travail du salarié (enregistrement Holter, par exemple).

À titre indicatif, sont consignées dans le *tableau 18* les valeurs de champ en dessous desquelles le fonctionnement des implants actifs n'est pas perturbé. Ces valeurs ont été communiquées par les fabricants de stimulateurs et défibrillateurs cardiaques.

Tableau 18

Seuils de perturbation des implants actifs

Fréquences	Seuil de perturbation
0 Hz	0,5 mT
0,1 – 10 000 Hz	100 µT
< 1 kHz	3 000 V/m
> 100 kHz	100 V/m

8.2. Salariés porteurs d'implants passifs ferromagnétiques

Un champ magnétique statique peut provoquer un déplacement dans les tissus mous d'implants passifs. Ce risque est absent pour les implants volumineux maintenus par des tissus résistants (par exemple, une plaque d'ostéosynthèse). Le risque est jugé peu important pour les champs magnétiques statiques inférieurs à 0,5 mT.

Pour les rayonnements radiofréquences et hyperfréquences, l'échauffement des implants et de tout objet métallique présent dans ou sur le corps est à considérer.

8.3. Femmes enceintes

D'un point de vue réglementaire, l'exposition d'une femme enceinte en milieu professionnel doit respecter la réglementation grand public, l'embryon acquérant un statut juridique de personne très tôt au cours de la grossesse.

Les différentes études expérimentales n'ont jamais apporté d'éléments en faveur d'un effet sanitaire des champs électromagnétiques lors de la grossesse, que ce soit pour la mère ou pour l'enfant à naître. Cependant, il faut préciser que les valeurs limites ne sont pas fondées sur des effets à long terme.

La perception d'un risque peut elle-même induire des effets non directement liés à la cause. C'est pourquoi si la personne s'inquiète, il appartient au médecin du travail qui suit l'entreprise de décider de l'écartier des postes de travail exposés.

9. Actions de réduction de l'exposition



L'évaluation des risques n'est pas un but en soi : elle est réalisée pour hiérarchiser les sources et définir des plans d'action de réduction de l'exposition. Quatre types d'actions sont possibles, présentées ci-dessous par ordre décroissant de préférence. Après avoir mis en place ces actions, il faut réactualiser l'évaluation des risques pour s'assurer de leur efficacité.

À qui s'adresser ?

Les centres de mesures physiques des CARSAT/CRAM et l'INRS possèdent une expertise sur les actions de réduction de l'exposition à mettre en place. Ils peuvent fournir à la demande une liste non exhaustive d'organismes compétents pour la mise en place de moyens de prévention.

9.1. Réduction à la source

Elle doit être privilégiée aux autres modes de réduction.

Pour un équipement en production, la réduction à la source consiste à diminuer l'intensité des champs émis. Elle est réalisée en diminuant la puissance intrinsèque émise ou en modifiant l'équipement (par exemple, optimisation des réglages, mise à la terre...) après concertation avec le fabricant.

L'action la plus efficace est le remplacement de l'équipement par un autre qui génère peu ou pas de champs électromagnétiques ou l'arrêt de l'émission quand les travailleurs sont proches.

À qui s'adresser ?

Le fabricant de l'équipement et le réparateur de machines sont les interlocuteurs à privilégier.

9.2. Protection collective

Le **blindage électromagnétique** permet de réduire le champ électromagnétique dans une zone de travail en interposant une barrière entre la source du champ et l'opérateur à protéger.

La barrière doit être faite d'un matériau conducteur électrique. Le blindage électromagnétique est réalisé avec des feuilles ou des grilles métalliques.

Un blindage « hautes fréquences » arrête simultanément le champ électrique et le champ magnétique.

Dans le domaine des « basses fréquences », un blindage efficace pour atténuer le champ électrique ne l'est généralement pas pour le champ magnétique.

Pour les champs magnétostatiques et magnétiques de basses fréquences, un blindage magnétique pourrait être réalisé avec des matériaux de perméabilité magnétique élevée (mumétal, par exemple), mais le coût de ce métal rend souvent prohibitif un tel blindage.

Attention, un blindage mal conçu peut accroître l'exposition. Sa conception doit être confiée à des spécialistes.

9.3. Éloignement

Les champs électromagnétiques décroissent assez rapidement avec la distance par rapport à la source. Une solution pour diminuer l'exposition des travailleurs est donc d'éloigner leur poste de travail de la source. Cette solution peut nécessiter un réaménagement du poste de travail (commande déportée, par exemple).

D'une manière générale, lors de la conception et de l'installation des postes de travail, on veillera à les éloigner de toute source de rayonnements électromagnétiques.

Attention, les câbles véhiculant des courants de forte intensité sont souvent des sources de rayonnement important.

9.4. Protection individuelle

Quand aucune des actions envisagées ci-dessus n'est réalisable, l'ultime solution est de recourir à un équipement de protection individuelle (EPI). L'environnement dans lequel se trouve le travailleur est inchangé. Il n'existe pas d'EPI contre le rayonnement magnétique basses fréquences.

9.5. Fil rouge

Les actions de prévention à mettre en place dépendent en particulier de l'équipement concerné et de la configuration de travail. Ces actions de prévention doivent être définies en concertation avec le personnel intervenant sur les installations, le CHSCT et les organismes de prévention.

Le *tableau 19* donne, pour certaines catégories de sources de rayonnements électromagnétiques, les moyens de prévention généralement adoptés dans les entreprises.

9.6. Signalisation

Les lieux de travail où les VDA sont dépassées font l'objet d'une signalisation adéquate et, lorsque c'est techniquement possible, sont circonscrits et leur accès est limité. Dans le cas où les VDA ne sont pas dépassées mais que la pertinence existe (dépassement de la recommandation « public »), une signalisation (*voir tableau 20*) est mise en place avertissant les porteurs de dispositifs médicaux implantables actifs DMIA.

Tableau 19

Moyens de prévention à disposition pour réduire l'exposition aux rayonnements électromagnétiques aux postes de travail

Catégorie	Type de réduction 1	Type de réduction 2	Exemples de moyens
Soudage par résistance	Réduction à la source	Réduction par éloignement	Blindage des amenées de courant Position de l'opérateur par rapport à la boucle
Magnétiseurs	Réduction par éloignement	Réduction à la source	Aménagement du poste (éloignement par rapport à la boucle, commande déportée, convoyeur)
Chauffage et soudage par induction	Protection collective Réduction par éloignement	Réduction par éloignement	Commande déportée Blindage Réduction de la puissance lors des interventions
Magnétoscopie	Réduction par éloignement	Réduction par éloignement	Aménagement du poste (éloignement par rapport à la boucle, commande déportée, convoyeur) Cabine de contrôle
Chauffage, soudage par pertes diélectriques	Réduction à la source Protection collective Réduction par éloignement	Réduction à la source	Signalisation
		Réduction à la source	Blindage
		Réduction à la source	Patin de masse
Électrolyse	Réduction par éloignement	Réduction à la source	Signalisation
IRM/RMN	Réduction par éloignement	Réduction par éloignement	Salle de contrôle extérieure
Fours micro-ondes	Réduction à la source	Réduction par éloignement	Blindage
	Réduction par éloignement	Réduction par éloignement	Signalisation

Tableau 20

Pictogrammes associés à la présence de champs électromagnétiques

	Pictogramme pour avertir de la présence d'un champ magnétique statique ou non.
	Pictogramme pour avertir de la présence de rayonnements non ionisants.
	Pictogramme pour interdire aux porteurs de dispositifs médicaux implantables actifs (DMIA) l'accès au lieu de travail.

9.7. Fil rouge - Cas concrets de mesures de prévention mises en place dans les entreprises

Cas n° 1 - Éloignement

L'entreprise est spécialisée dans la fabrication de chaînes. Une recherche de défaut de compacité est effectuée par magnétoscopie sur les éléments fabriqués. La vérification de la qualité des éléments est réalisée par magnétoscopie.

Principe : la magnétoscopie consiste à soumettre une zone à contrôler à l'action d'un champ magnétique continu ou alternatif à 50 Hz. Les défauts éventuels engendrent un champ de fuite à la surface de la pièce. Ce champ de fuite est matérialisé au moyen d'une poudre ferromagnétique très fine, pulvérisée sur la surface à examiner et attirée au droit du défaut par les forces magnétiques. Le contrôle est effectué sur banc dans une cabine prévue à cet effet. Les pièces sont posées sur un tapis et passent dans une chambre de magnétisation.

Prévention : la réduction du champ magnétique a été obtenue en plaçant la chambre de magnétisation à l'extérieur de la cabine de l'opérateur (figure 4 et tableau 21).

Figure 4. Éloignement d'une chambre de magnétisation

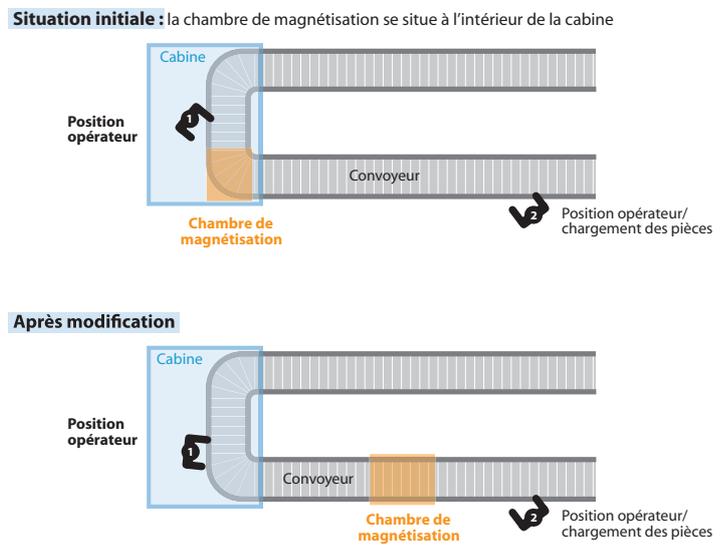


Tableau 21

Exposition de l'opérateur avant et après l'éloignement de la chambre de magnétisation

Point de mesure n°	Emplacement	Induction magnétique B			
		Mesurée (μT)	% de la VDA	Mesurée (μT)	% de la VDA
		Chambre de magnétisation dans la cabine		Chambre de magnétisation hors de la cabine	
1	Intérieur de la cabine	320	64 %	20	4 %
1	Poste de travail, intérieur de la cabine, entrée de la boucle (position possible de la main pour repositionner les pièces)	1800	360 %	20	4 %
2	Poste de travail, dépose de pièce sur le tapis	12	2,4 %	96	20 %

Cas n° 2 - Éloignement

Situation initiale : une presse à souder HF (27 MHz, 10 kW, courant anode 1,3 A) est utilisée pour souder des pièces en PVC de grandes dimensions. Au poste de travail, le champ électrique maximal mesuré (figure 5) est de 373 V/m au niveau du tronc de l'opératrice durant des soudures courtes (10 secondes). Du fait du débordement de la matière à souder de part et d'autre du plan de travail, il n'est pas possible de réaliser un blindage efficace.

Situation finale : la solution de l'éloignement a été retenue pour cette machine. La commande bimanuelle a été déportée. Une fois la matière mise en place et tenue par la pression de la presse, l'opératrice s'éloigne et applique la « haute fréquence » depuis le poste de commande déporté. Le champ électrique mesuré dans des conditions identiques à celles de la situation initiale est inférieur à 60 V/m (commande déportée à 1,5 m de la machine).

Figure 5. Mesure de champs sur presse HF



Pierre Laurent © CARSAT Limoges

Cas n° 3 - Industrie du bois : réduction du champ émis par une presse HF placée dans une cage de Faraday

L'entreprise fabrique principalement des tourets en bois servant à l'enroulement des câbles électriques. La partie cylindrique des tourets – appelée « tube » – est composée de feuilles de fibres de bois collées les unes sur les autres en 6 à 10 couches de 2 mm d'épaisseur.

Le séchage du tube en bois est réalisé par une presse à hautes fréquences. L'électrode émettrice cylindrique se compose de 6 plaques métalliques incurvées reliées électriquement par des feuillards. Actionnées par 6 vérins, elles viennent s'appliquer sur le fût métallique. L'électrode de masse (contre-électrode) est constituée par le cylindre support sur lequel est glissé le touret. Le générateur et la presse sont implantés dans un angle de l'atelier à l'intérieur d'une enceinte de Faraday.

Générateur :

- Tension d'entrée : 380 V, tension de sortie : 6 000 V.
- Puissance de sortie HF : 15 kW.
- Fréquence de la tension de sortie : entre 3 et 7 MHz.

Presses :

- Dimensions des électrodes (en position de soudage) :
 $\phi = 800$ mm ; largeur : 620 mm.

Enceinte de Faraday :

- Dimensions : L = 5 m ; l = 2,50 m ; h = 2,25 m.
- La distance libre entre l'électrode et l'enceinte est d'environ 1 m.
- Constitution : grillage à grosses mailles, soudé sur un cadre de cornières métalliques.
- Liaison par feuillard du blindage à la masse de la machine.

La figure 6 détaille les mesures de champ réalisées.

Sans l'enceinte de Faraday, le champ électrique au poste de préparation des tubes en bois (point n° 3) mesuré est de 62 V/m (mesure effectuée à environ 1,70 m de l'électrode, 1,60 m au dessus du sol).

Avec l'enceinte en place et correctement reliée à la masse de la machine, le champ électrique est au maximum de 3 V/m.

Remarque

Dans la gamme 1 MHz – 10 MHz, la VDA du champ électrique E (en V/m) est donnée par l'expression : $VDA = 610 / f$, où f est la valeur de la fréquence exprimée en MHz :

- pour la fréquence 3 MHz : VDA = 203 V/m,
- pour la fréquence 7 MHz : VDA = 87 V/m.

Cet exemple a été sélectionné malgré que le champ électrique au poste de travail soit inférieur à la VDA, car il illustre le gain que l'on peut obtenir avec un blindage de type « cage de Faraday ».

Figure 6. Repérage des points de mesure dans l'atelier

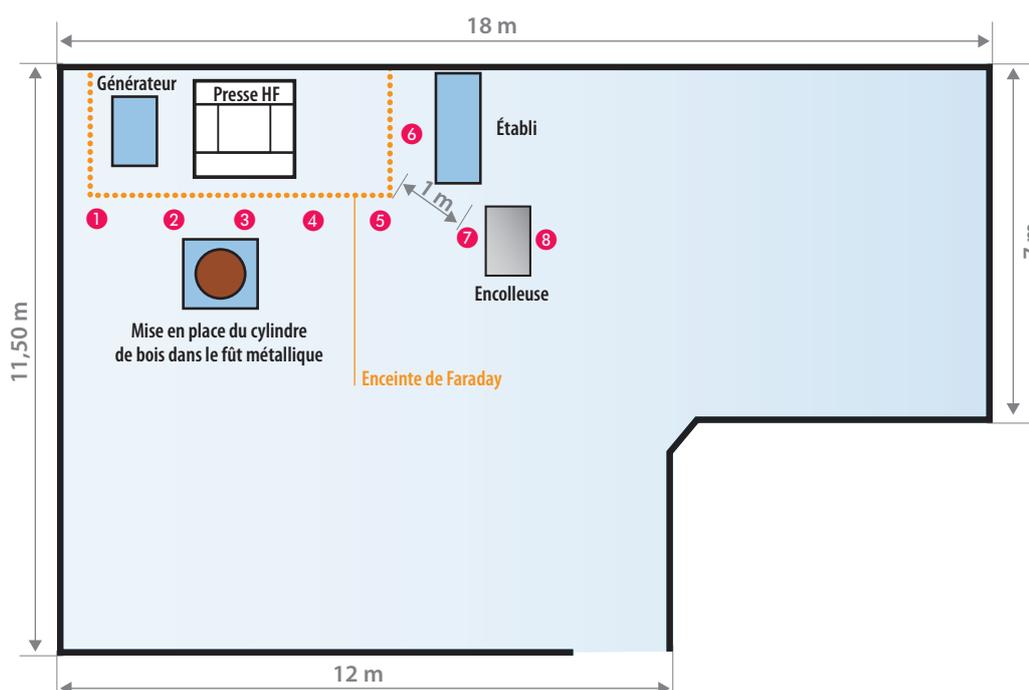


Figure 7. Blindage d'une presse HF



Pierre Laurent © CARSAT Limoges



Pierre Laurent © CARSAT Limoges

Cas n° 4 - Blindage de l'électrode d'une presse HF

Situation initiale : une presse à souder HF (27 MHz, 10 kW, courant anode 1 A) est utilisée pour souder des pièces en PVC de petites dimensions. Au poste de travail, le champ électrique maximal mesuré est de 400 V/m au niveau du tronc et de 720 V/m au niveau des jambes de l'opératrice durant des soudures courtes (20 secondes). La machine n'est équipée d'aucun blindage de protection.

Situation finale : un blindage « prototype » a été réalisé sur cette machine (figure 7). Il est utilisable pour des pièces de petites dimensions uniquement. Dans la même configuration (courant anode de 1 A), le champ électrique mesuré au niveau du tronc d'un opérateur debout est de 22 V/m. Quand l'opérateur travaille en position assise, le champ électrique mesuré au niveau du tronc est de 50 V/m.

Figure 8.

Soudeuse sans patin de masse (électrode : 1 400 x 2 mm)



Vincent Grémillet © INRS

Cas n° 5 - Réduction à la source, réduction du champ émis par une presse HF équipée avec un patin de masse

Les presses « hautes fréquences » sont utilisées dans la fabrication de bâches, de stores, etc. Certaines sont équipées d'un patin de masse, dispositif qui permet de réduire jusqu'à 10 fois l'exposition sans gêner l'opérateur dans son travail (figures 8 et 9).

Deux presses HF utilisées pour le soudage des bâches ont fait l'objet de mesures de champ électrique. Ces presses fonctionnent à la fréquence de 27,12 MHz. La puissance des générateurs HF est de 12 kW.

Sans le patin de masse, le champ électrique mesuré au poste de travail atteint 137 V/m pendant le soudage.

Dans les mêmes conditions et avec patin de masse, le champ électrique mesuré au poste de travail est de 36 V/m.

Figure 9.

Soudeuse avec patin de masse (électrode : 600 x 47 mm)



Vincent Grémillet © INRS

Remarque

Dans la gamme 10 à 110 MHz, la VDA du champ électrique E est fixée à 61 V/m.

Il faut éviter la présence d'objets métalliques à proximité des presses HF. Non reliés à la terre, ils peuvent se charger électriquement et occasionner des décharges électriques lorsqu'une personne les touche. Il est préférable d'utiliser, lorsque cela est possible, des objets en plastique ou en bois. Il est également recommandé aux opérateurs situés à proximité des presses de ne pas porter de boucles de ceinture, de bracelets, de montres, et tout autre objet en métal, ces derniers concentrant le champ et accentuant l'effet thermique.

Cas n° 6 - Exemple de réduction à la source par acquisition de nouveaux matériels

L'entreprise est spécialisée dans la fabrication et la conception de structures flexibles en matériaux élastomère et plastomère (réservoirs, jerricans, coussins de levage, joints). Elle doit en particulier faire face à des perturbations électromagnétiques et des dysfonctionnements au niveau de plusieurs équipements de production et de sécurité (informatique, détecteur incendie...).

Situation initiale : l'entreprise est équipée de 6 presses HF. La fréquence de soudure est de 27,12 MHz. Deux soudeuses sont montées sur rail pour le soudage d'éléments de grandes dimensions, évoluant le long d'un plan de travail formant un carré d'environ 20 m de côté. Le niveau d'exposition des opérateurs chargés de la conduite des presses soudeuses varie de 140 à 480 V/m, en fonction des pièces réalisées. Le bâti du plan de travail rayonne à 60 V/m minimum, et ce quelle que soit la distance à la soudeuse. Un champ électrique de 15 à 25 V/m peut être mesuré dans l'ensemble du bâtiment, dont les dimensions sont : 90 m x 75 m.

L'entreprise en remplacement de ces presses soudeuses sur rail investit dans un nouvel équipement. Cette nouvelle presse (puissance HF 20 kW, fréquence 27,12 MHz) dispose intrinsèquement à la conception de dispositifs de contre-électrode (patin de masse) limitant l'émission de champs électromagnétiques. L'ensemble des éléments (outils, bâti du plan de travail) est revu et vérifié quant à la mise à la masse. Le niveau d'exposition des opérateurs chargés de la conduite des presses soudeuses s'étend, en fonction des pièces réalisées, de 30 à 60 V/m (dépendant essentiellement de la position de l'opérateur et de la puissance mise en œuvre). La valeur du champ électrique E au niveau du plan de travail est au maximum de 4 V/m. Dans les autres zones de l'atelier, elle varie de 2 à 4 V/m au maximum.



Documents

- 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*. ND 2143, n° 182, 2001, pp. 19-47. Disponible sur le site www.hst.fr
- Lignes directrices relatives aux limites d'exposition aux champs magnétiques statiques. *Hygiène et sécurité du Travail*. PR 43, n°218, 2010, 14 p. Disponible sur le site www.hst.fr
- Directive 2004/40/CE du Parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 – *Journal officiel* de l'Union européenne L159 du 30 avril 2004.
- Proposition de directive (COM(2012)0015-C7-0020/2012-2012/0003(COD)).
- Norme NF EN 50 527-1 – Procédure pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs porteurs de dispositifs médicaux implantables actifs aux champs électromagnétiques. Partie 1 – Généralités. 2010.
- Norme NF EN 50 527-2-1 – Procédure pour l'évaluation de l'exposition aux champs électromagnétiques d'un travailleur portant un DMIA. 2011.
- Fiches de la collection « Champs électromagnétiques ». ED 4200 à ED 4217. INRS. Disponible sur le site www.inrs.fr

Adresses internet utiles

- Site de l'INERIS : www.ineris.fr
- INRS. Champs électromagnétiques. Disponible sur le site www.inrs.fr
- OMS. Les champs électromagnétiques. Disponible à l'adresse suivante : www.who.int/peh-emf/fr
- Site de la COFRAC : www.cofrac.fr



Notes

Notes



Pour obtenir en prêt les audiovisuels et multimédias et pour commander les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service Prévention de votre Carsat, Cram ou CGSS.

Services Prévention des Carsat et des Cram

Carsat ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14 rue Adolphe-Seyboth
CS 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
prevention.documentation@carsat-am.fr
www.carsat-alsacemoselle.fr

(57 Moselle)
3 place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.carsat-alsacemoselle.fr

(68 Haut-Rhin)
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 88 14 33 02
fax 03 89 21 62 21
www.carsat-alsacemoselle.fr

Carsat AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,
64 Pyrénées-Atlantiques)
80 avenue de la Jallère
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 36
fax 05 57 57 70 04
documentation.prevention@carsat-
aquitaine.fr
www.carsat.aquitaine.fr

Carsat AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire,
63 Puy-de-Dôme)
48-50 boulevard Lafayette
63058 Clermont-Ferrand cedex 1
tél. 04 73 42 70 76
fax 04 73 42 70 15
preven.carsat@orange.fr
www.carsat-auvergne.fr

Carsat BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs, 39 Jura,
58 Nièvre, 70 Haute-Saône,
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,
90 Territoire de Belfort)
ZAE Cap-Nord, 38 rue de Cracovie
21044 Dijon cedex
tél. 08 21 10 21 21
fax 03 80 70 52 89
prevention@carsat-bfc.fr
www.carsat-bfc.fr

Carsat BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236 rue de Châteaugiron
35030 Rennes cedex
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
drpcdi@carsat-bretagne.fr
www.carsat-bretagne.fr

Carsat CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36 rue Xaintrailles
45033 Orléans cedex 1
tél. 02 38 81 50 00
fax 02 38 79 70 29
prev@carsat-centre.fr
www.carsat-centre.fr

Carsat CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
37 avenue du président René Coty
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 45 71 45
cirp@carsat-centreouest.fr
www.carsat-centreouest.fr

Cram ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,
78 Yvelines, 91 Essonne,
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)
17-19 place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr
www.cramif.fr

Carsat LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29 cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 55
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@carsat-lr.fr
www.carsat-lr.fr

Carsat MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2 rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
tél. 0820 904 231 (0,118 €/min)
fax 05 62 14 88 24
doc.prev@carsat-mp.fr
www.carsat-mp.fr

Carsat NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,
55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85 rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
fax 03 83 34 48 70
documentation.prevention@carsat-nordest.fr
www.carsat-nordest.fr

Carsat NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11 allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 79 30
bedprevention@carsat-nordpicardie.fr
www.carsat-nordpicardie.fr

Carsat NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,
61 Orne, 76 Seine-Maritime)
Avenue du Grand-Cours, 2022 X
76028 Rouen cedex
tél. 02 35 03 58 22
fax 02 35 03 60 76
prevention@carsat-normandie.fr
www.carsat-normandie.fr

Carsat PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2 place de Bretagne
44932 Nantes cedex 9
tél. 02 51 72 84 08
fax 02 51 82 31 62
documentation.rp@carsat-pl.fr
www.carsat-pl.fr

Carsat RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère,
42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie,
74 Haute-Savoie)
26 rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 96 96
fax 04 72 91 97 09
preventionrp@carsat-ra.fr
www.carsat-ra.fr

Carsat SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse-du-Sud,
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35 rue George
13386 Marseille cedex 5
tél. 04 91 85 85 36
fax 04 91 85 75 66
documentation.prevention@carsat-sudest.fr
www.carsat-sudest.fr

Services Prévention des CGSS

CGSS GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre
tél. 05 90 21 46 00 – fax 05 90 21 46 13
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

CGSS GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, route de Raban,
BP 7015, 97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04 – fax 05 94 29 83 01

CGSS LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97704 Saint-Denis Messag cedex 9
tél. 02 62 90 47 00 – fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss-reunion.fr

CGSS MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31 et 05 96 66 51 32 – fax 05 96 51 81 54
prevention972@cgss-martinique.fr
www.cgss-martinique.fr

Ce guide pratique a été rédigé pour aider les entreprises à prévenir les risques liés à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques. Il vise à simplifier la démarche d'évaluation selon un ordre de probabilité, par élimination des équipements d'emblée sans risque car émetteurs de champs électromagnétiques de faible niveau. À l'issue de l'évaluation simplifiée et en fonction des équipements existants dans l'entreprise, une évaluation approfondie est proposée, si nécessaire, pour des sources de champ d'intensité intermédiaire.

Il apparaît que huit applications industrielles sont principalement susceptibles d'exposer les opérateurs. Ces huit applications sont suivies en fil rouge tout au long des différentes parties de cet ouvrage.

Les grandes actions de réduction de l'exposition sont énumérées et l'information et la formation des salariés, l'accessibilité de l'évaluation des risques et la surveillance de la santé des salariés sont évoquées.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00
Internet: www.inrs.fr • e-mail: info@inrs.fr

Édition INRS ED 6136

1^{re} édition • janvier 2013 • 5 000 ex. • ISBN 978-2-7389-2018-8