

INTEGRER LE RISQUE « RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUES » DANS LE DOCUMENT UNIQUE D'EVALUATION DES RISQUES PROFESSIONNELS

1 INTRODUCTION

La prise de conscience de l'existence des rayonnements électromagnétiques dans l'environnement s'est accentuée dans le public ces dernières années avec le développement de la téléphonie mobile (GSM, UMTS, etc...) et de nouvelles techniques de communication (4G, WiFi, Wimax, etc...). Dans le milieu industriel, les équipements de soudage par résistance, par pertes diélectriques, de chauffage par induction..., utilisent des technologies sources de rayonnements électromagnétiques dont les opérateurs ne sont pas toujours conscients et dont les effets, s'ils existent, sont analogues à ceux produits par les rayonnements de la téléphonie mobile.

La directive européenne « champs électromagnétiques » (directive 2004/40/CE) [1] définit les valeurs à respecter pour les différents paramètres de l'exposition en entreprise et les actions de prévention à prendre en cas de dépassement. Elle aurait dû être mise en application en avril 2008 mais dès l'annonce de la mise en œuvre de cette directive, les fabricants des équipements concernés, en particulier dans le domaine de l'imagerie (imagerie par résonance magnétique IRM et RMN), ont exprimé des réserves.

Ceux-ci ont estimé que l'instauration de valeurs limites constituerait un frein dans l'évolution des techniques utilisées. Chez les industriels, la publication de la directive a suscité des questions et demandes d'informations de plus en plus nombreuses, en particulier dans le cadre de l'évaluation des risques professionnels (document unique). Ces craintes et questions de la part des fabricants et utilisateurs de machines ont conduit à la révision de la directive et au report de sa publication à 2012.

L'évaluation du risque « champs électromagnétiques » aux postes de travail n'est pas simple. Les paramètres représentatifs de l'exposition aux champs électromagnétiques sont en effet variables suivant l'application. Une publication du ministère des affaires sociales hollandais intitulée « Electromagnetic fields in the working environment » [2] décrit une première campagne effectuée pour déterminer le risque électromagnétique présenté par les équipements industriels. Les mesureurs ont réparti les équipements émettant dans 3 catégories suivant la valeur de champ mesurée :

Catégorie I : Environnement de travail pour lesquels il peut être supposé a priori que les valeurs d'action définies par la Directive Européenne 2004/40/CE seront respectées,

Catégorie II : Environnement de travail pour lesquels des mesures techniques doivent être prises afin de respecter les valeurs d'action définies par la Directive Européenne 2004/40/CE,

Catégorie III : Environnement de travail pour lesquels il est urgent de prendre des mesures extensives afin de respecter les valeurs d'action définies par la Directive Européenne 2004/40/CE.

Cette méthode, bien que fort intéressante, fait référence à plusieurs documents (normes CENELEC, tableaux de classification...) et nécessite la réalisation de mesurages par les entreprises aux postes de travail ce qui la rend difficile à mettre en application par les chefs d'entreprises ou les responsables de sécurité qui généralement ne disposent pas de champmètre. Rappelons que la directive demande d'évaluer les risques aux postes de travail.

Cet article présente les résultats d'une étude systématique ayant pour objectif de :

- réaliser un bilan des valeurs d'exposition aux champs électromagnétiques,
- déterminer les équipements rayonnants et estimer leurs effectifs en France par rapport à la première version de la directive 2004/40/CE et à la nouvelle version 2011/0152,
- recenser les moyens de prévention existants.

Elle s'est déroulée en parallèle et en cohérence avec une campagne, lancée par la Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés, visant à cartographier l'exposition aux « champs électromagnétiques », avec l'assistance des membres du groupe « champs électromagnétiques » INRS/CARSAT/CRAM.

2 EQUIPEMENTS INDUSTRIELS RAYONNANTS

Une première étape a consisté à identifier et à recenser les familles d'équipements industriels émettant des rayonnements électromagnétiques de par leur conception. Le choix a été effectué à partir de l'expérience des agents de terrain, des Centres de Mesures Physiques des CARSAT/CRAM. Les équipements les plus rayonnants

ont été regroupés en 8 familles selon leur technologie. Les principales caractéristiques des équipements composants certaines de ces familles sont données dans les paragraphes suivants.

2.1 Soudage par résistance

Le soudage par résistance est réalisé par la combinaison d'une forte intensité électrique et d'une pression ponctuelle appliquées sur deux pièces métalliques. Ce procédé ne nécessite pas d'apport extérieur de matière. L'intensité électrique chauffe la matière jusqu'à la fusion. La pression maintient le contact entre l'électrode et l'assemblage. Cette technique est dépendante de la résistivité (résistance électrique) des matières, de l'épaisseur totale de l'assemblage et du diamètre des électrodes. Ce procédé est majoritairement utilisé dans l'assemblage de tôles d'acier de faible épaisseur (< 6 mm) telles que par exemple, une carrosserie d'automobile.



Machine à souder par points sur châssis



Pince à souder à transformateur intégré



Pincettes à souder à transformateur déporté



Machine à souder à la molette

Figure 1 : Quatre types de machines et pincettes à souder par résistances

2.2 Magnétoscopie

La magnétoscopie est une technique de contrôle non-destructif qui consiste à créer un champ magnétique intense à l'intérieur d'un matériau ferromagnétique. Lors de la présence d'un défaut sur son chemin, 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 caractéristique du défaut.



Figure 2 : Exemple de poste de contrôle par magnétoscopie

2.3 Les presses de « Soudage par pertes diélectriques »

Le procédé de soudage par pertes diélectriques est utilisé pour la soudure étanche instantanée des produits thermoplastiques. Les molécules du produit sont soumises à un champ électrique de haute fréquence. Les vibrations moléculaires intenses engendrent, par le frottement des molécules, un échauffement, interne suffisant pour entraîner le ramollissement et le soudage entre eux des matériaux. La fréquence du champ électrique est généralement de 27 MHz mais on rencontre également des générateurs fonctionnant à 13,6 MHz. Les soudeuses « hautes fréquences » sont généralement utilisées dans :

- la confection d'articles d'emballage et de conditionnement,
- l'habillement,
- la maroquinerie plastique : garnitures de bureau, porte-documents, serviettes d'écoliers, couverture de livres, porte-cartes, porte-billets, sacs à main,
- les jouets et articles de jeux de plein air : ballons et matelas gonflables, canots gonflables,
- l'équipement intérieur des automobiles et les assemblages industriels complexes pour le capitonnage des portes et des parois.



Figure 3 : presse à souder par pertes diélectriques

2.4 Les équipements d' « Electrolyse industrielle »

L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est le processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique. Elle permet la séparation d'éléments ou la synthèse de composés chimiques. Les principales applications sont :

- la production de dihydrogène par électrolyse de l'eau,
- la production de chlore par électrolyse,
- le plaquage par électrolyse qui consiste à recouvrir des objets d'une mince couche régulière d'un métal généralement précieux ou d'un alliage : [dorure](#), [argenture](#), [nickelage](#), [chromage](#), [cadmiage](#), cuivrage...
- la production d'aluminium par électrolyse.



Figure 4 : Cuves à électrolyse pour l'étamage des tôles

2.5 Les équipements d' « Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) » et de « Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) »

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'[imagerie médicale](#) permettant d'obtenir des vues 2D ou [3D](#) de l'intérieur du corps humain de façon non-invasive avec une résolution relativement élevée. L'IRM

repose sur le principe de la résonance magnétique nucléaire (RMN) qui utilise certaines propriétés des noyaux atomiques pour la spectroscopie en analyse chimique. L'IRM nécessite un champ magnétique puissant et stable produit par un aimant supraconducteur qui crée une magnétisation des tissus. Des champs magnétiques oscillants plus faibles, dits radiofréquence, sont alors appliqués de façon à légèrement modifier cet alignement et produire un phénomène qui donne lieu à un signal électromagnétique mesurable.



Figure 5 : Appareil de diagnostic médical IRM

2.6 Les équipements industriels de « Chauffage par micro-ondes ».

Un **four à micro-ondes** est un appareil utilisé principalement pour le chauffage rapide de produits, par agitation des molécules d'eau qu'ils contiennent sous l'effet d'un rayonnement micro-onde ($f = 2,45 \text{ GHz}$). Dans l'industrie, les fours micro-ondes sont utilisés pour des opérations de décongélation, de cuisson, de pasteurisation, de séchage, de collage, etc.

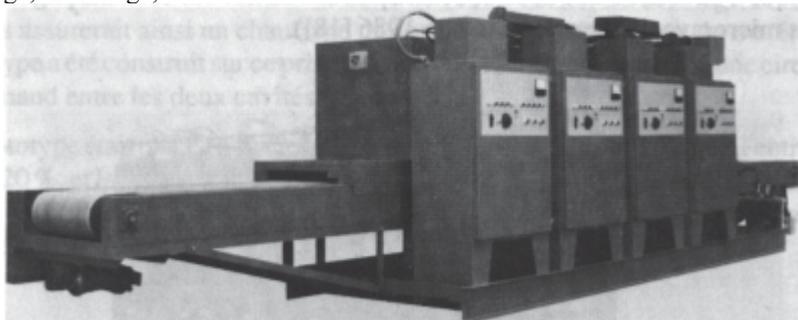


Figure 6 : Tunnel de séchage de céramiques

2.7 Répartition par familles des équipements au niveau du parc français

L'INRS a confié au cabinet ERDYN Consultants une enquête afin de connaître la répartition du nombre de machines dans chaque famille au niveau du parc français. 58 entretiens téléphoniques auprès des fournisseurs de ces équipements ou d'instances professionnelles ont été réalisés. Les données recueillies au cours de ces entretiens ont servi de base à l'évaluation du parc français des équipements concernés. Le cas échéant des données complémentaires ont été recherchées par analyse documentaire pour vérifier la cohérence des estimations proposées (exemple : nombre d'établissements utilisateurs potentiels des équipements).

La fig. 7 donne sur une échelle logarithmique, l'effectif des machines pour les 8 familles (histogramme bleu).

Les équipements les plus nombreux sont le soudage par résistance, les magnétiseurs-démagnétiseurs, le chauffage et soudage par induction, la magnétoscopie, le soudage par pertes diélectriques.

Au total, si on suppose qu'à chaque poste de travail est associé un opérateur, on peut estimer qu'au moins **100 000 personnes travaillent à proximité de ces équipements.**

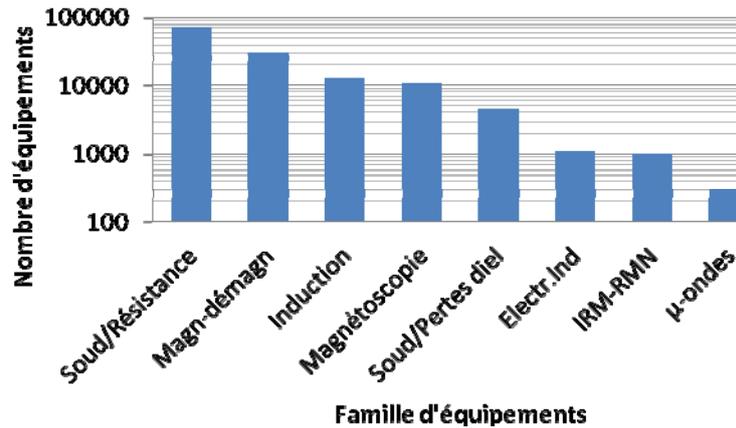


Fig. 7 : Estimation du parc français de machines rayonnantes

3 METHODES DE MESURES

Pour chaque famille, un mode opératoire de mesurage des champs électromagnétiques a été élaboré et des fiches de relevés rédigées. Le tableau 1 définit les grandeurs mesurées pour chacune des 8 familles d'équipements.

Famille d'équipements	Champ électrique E (V/m)	Champ magnétique H (A/m) ou Induction magnétique B (μT)	Courant induit (A/m)
Soudage par résistance			
Magnétiseurs démagnétiseurs			
Chauffage par induction			
Magnétoscopie			
Soudage par pertes diélectriques			
Electrolyse Industrielle			
IRM-RMN			
Micro-ondes			

Paramètre(s) mesuré(s)

Tableau 1 : Liste des familles d'équipements retenues et des grandeurs mesurées correspondantes

le tableau 2 donne le type d'appareil utilisé pour chaque grandeur mesurée.

Paramètre mesuré	Champ électrique E (V/m)	Champ magnétique H (A/m)	Induction magnétique B (μT)	Courant induit I _{induit} (A/m)
Appareil utilisé	Champmètre équipé d'une sonde « champ électrique » adaptée	Champmètre équipé d'une sonde « champ magnétique » adaptée	Teslamètre équipé d'une sonde « induction magnétique » adaptée	Mesureur de courant induit

Tableau 2 : Liste des matériels utilisés pour la mesure des différents paramètres

L'exposition aux champs électromagnétiques aux postes de travail, s'évalue selon la Directive européenne 2004/40/CE, à partir de la valeur efficace la plus élevée des grandeurs mesurées. Pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 6 GHz, la grandeur est moyennée sur un intervalle de temps de 6 minutes. Les mesurages des champs électriques et/ou magnétiques ont été effectués par les Centres de Mesures Physiques des

Renseignements administratifs

N° de fiche	111	ETS XXX	
Emetteur	CIMPE (NANCY)		
Année d'intervention	2009		
CTN	CTN E : Industrie de la chimie, du caoutchouc et de la plasturgie	ADRESSE	
N° de risque	252 GK	CODE POSTAL	VILLE

Equipement de travail :

Outillage :

Catégorie	Chauffage et soudage par pertes diélectriques	Type :	Plaque
	Application : Fournitures de bureaux (classeurs, protège-documents...)	Forme :	Rectangulaire
Marque :	THIMONNIER	Dimensions (Lxlxh-m)	0,7 x 0,7
Type :		Paramètres de réglage	
Modèle :	BS 150/1	Puissance (kW)	15
Année de fabrication :	1981	Courant anode (A)	
N° de série :	12		
Fréquence :	27,12 MHz		
Nature de l'émission :	Continue	Productivité :	
Type de fonctionnement :	Habituel		
Présence de l'opérateur :	OUI		

Matériau travaillé

Temps de soudage : 2 s Préparation : 10s	Matière	Pvc
	Caractéristiques	

Sécurité

Matériel de mesure :	Champmètre	Système de protection	
Type	PMM 8053	Pictogramme RNI	Non
Capteur	EP 330		
Point de mesure	Devant la presse		

Niveau de référence (Directive 2004/40/CE

$E_{max} =$	160 V/m	Champ électrique $E_{ref} =$	61 V/m
$E_{moy} =$	65 V/m	Courant induit	100 mA
		extrémité =	
		Densité de puissance S =	10 W/m ²
Courant de contact =		Calcul de H (ou de B) :	
Densité de puissance S=			
Seq =			
Commentaires			

Fig 8 : Exemple de fiche de relevés de mesures

CARSAT/CRAM et l'INRS au niveau du poste de travail, à la hauteur correspondant à la valeur maximale du paramètre mesuré par rapport à la taille d'un opérateur moyen (H = 1,75 m). Lorsque les mains des opérateurs pouvaient évoluer à proximité des éléments rayonnants (cas des soudeuses HF par exemple), des mesures complémentaires ont été faites à ces points particuliers. Des fiches de mesure (fig. 8) ont été définies pour chaque famille d'équipement et l'ensemble de ces fiches a été collecté et analysé par l'INRS. Pour chacun des résultats, nous avons comparé la valeur du paramètre mesuré (intensité du champ électrique, du champ magnétique ou de l'induction magnétique, du courant induit) à la valeur déclenchant l'action - VDA - définie par la Directive européenne 2004/40/CE correspondante et calculé un indice de sévérité R égal au rapport entre la valeur de ce paramètre et celle de la VDA dans la même unité.

$$R = \frac{\text{valeur du paramètre mesuré}}{\text{valeur déclenchant l'action (VDA)}}$$

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

4 EXPOSITION AUX CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES

4.1 Résultats

635 postes de travail à proximité de machines rayonnantes ont été mesurés dans toute la France.

Les 10^e, 25^e, 50^e (valeur médiane), 75^e et 90^e percentiles, des indices de sévérité, calculés pour chaque famille d'équipements, sur l'ensemble des fiches recueillies, sont donnés (en échelle logarithmique) sur la fig. 9. Cette présentation permet de constater que la valeur déclenchant l'action définie par la Directive européenne 2004/40 CE est susceptible (25 à 50 % des mesures réalisées) d'être dépassée pour 7 familles d'équipements sur 8. Seuls les résultats de mesurage concernant la famille des équipements IRM sont toujours inférieurs à la VDA concernant les champs magnétiques statiques au poste de travail assis habituel du personnel. Des problèmes de mesure en raison de l'inadaptation du matériel utilisé au signal émis par ce type d'équipements (temps d'émission trop court) nous ont conduit à réduire le nombre de prélèvements aux postes de travail correspondants. Notons également, que les mesures effectuées à proximité des équipements d'IRM et de RMN ont été réalisées dans les cabines de pilotage de l'équipement ; aucune mesure n'a été effectuée dans la salle où se trouve l'équipement de diagnostic où évolue parfois du personnel. La raison en est qu'il est difficile de mesurer le champ réel perçu par une personne se déplaçant dans un champ statique.

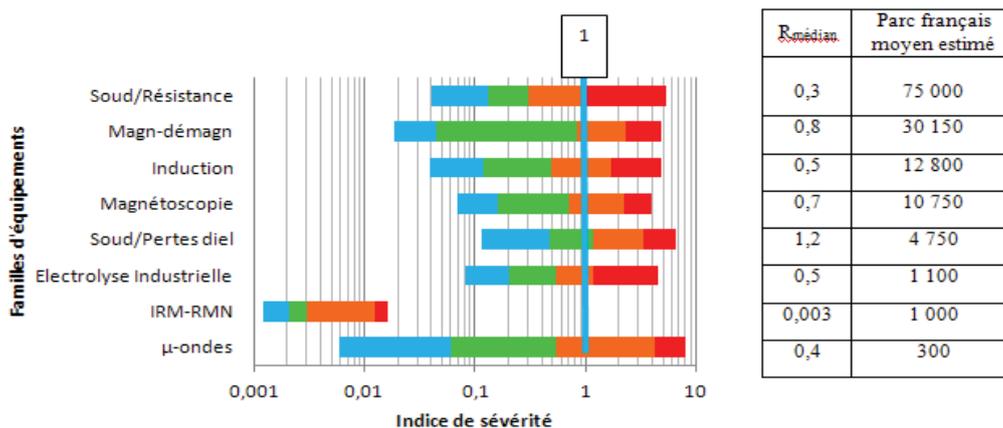


Fig. 9 : 10^e, 25^e, 50^e (valeur médiane), 75^e et 90^e percentiles de l'indice de sévérité dans chaque famille d'équipements¹

¹ Les indices concernant la famille « soudage par résistance » sont donnés à titre indicatif car les mesures sont entachées d'un terme d'erreur lié à des temps d'émission trop brefs par rapport au temps de réponse des appareils de mesure utilisés.

4.2 LIMITES DES RESULTATS

Pour diverses raisons (métrologiques, opportunités, priorités de prévention) la répartition du nombre de postes mesurés ne correspond pas à celle du nombre d'équipements (cf. fig. 10).

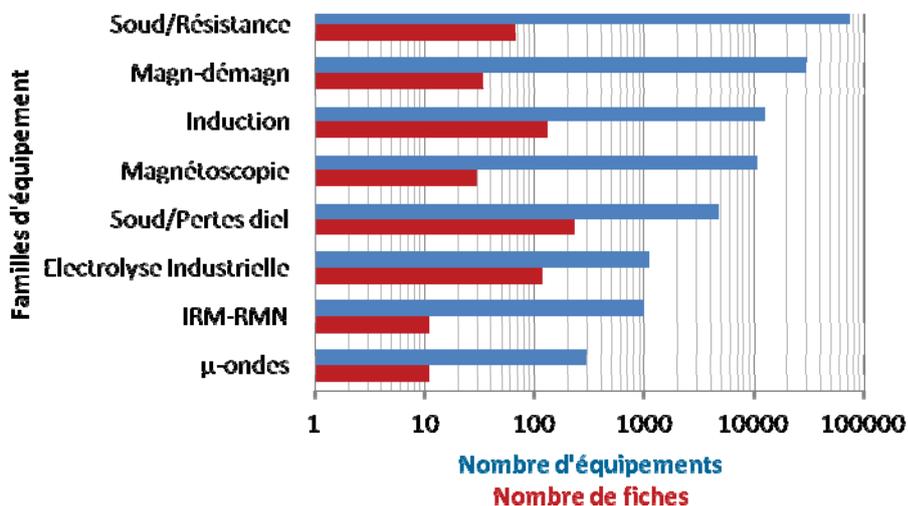


Figure.10 : Répartition moyenne du parc français de machines (histogramme bleu) et du nombre de fiches pour les 8 familles retenues.

On remarque que le nombre de fiches concernant la famille « soudage par résistance » n'arrive qu'en 4^e position derrière les familles « chauffage et soudage par pertes diélectriques », « électrolyse industrielle » et « chauffage et soudage par induction » pourtant moins fréquentes (cf. fig.10 - histogramme bleu). La raison de cette sous-représentation tient à des difficultés d'ordre métrologique. Avec le matériel de mesure disponible au moment de l'étude, il n'était pas possible de mesurer correctement des impulsions de très courte durée. Les résultats obtenus sont entachés d'erreur dont on n'a pas pu estimer l'importance. Un calcul, réalisé à l'aide d'un logiciel développé lors d'une étude précédente (Teslasoft) permet d'estimer la valeur de l'intensité du champ magnétique au poste de travail à partir de la connaissance des dimensions de la pince à souder [3]. On peut remarquer également que la famille d'équipements la moins représentée est celle des équipements d'IRM. La décision de limiter le nombre de mesures dans cette famille a été prise en raison de contestations des VDA par certains fabricants de matériel d'IRM qui ont conduit au report de la mise en application de la directive 2004/40/CE et pour finir au retrait de ce type d'équipements de son cadre d'application. Le nombre de postes de travail ayant fait l'objet de mesurages est cependant trop faible pour certains équipements par rapport au nombre d'équipements composant le parc français pour pouvoir tirer des conclusions (démagnétiseurs, chauffage par micro-onde...). La publication hollandaise [2], classe les équipements de chauffage par pertes diélectriques et de chauffage par micro-ondes dans la catégorie II - environnement de travail pour lesquels des mesures techniques doivent être prises afin de respecter les valeurs d'action - voire III - environnement de travail pour lesquels il est urgent de prendre des mesures extensives afin de respecter les valeurs d'action – pour les applications « chauffage par induction », et « IRM ». Cette classification est partiellement cohérente avec les résultats de notre étude. Le classement dans la catégorie III pour les équipements de chauffage par induction est dû à la probabilité de présence non-négligeable de postes de travail, très proches des bobines d'induction. En ce qui concerne les équipements IRM, certaines mesures prises en compte ont été réalisées dans la salle d'examen alors que l'appareil de diagnostic était en fonctionnement.

La différence entre notre étude et celle réalisée par le ministère des affaires sociales hollandais en juin 2006 est en majeure partie due à la définition du poste de travail (en particulier dans la famille « IRM »). Notons que dans la publication hollandaise, les familles « Electrolyse industrielle », « magnétoscopie », « magnétiseurs-démagnétiseurs » et « soudage par résistance » ne sont pas citées.

Le groupe « champs électromagnétiques » INRS-CARSAT/CRAM poursuivra le recueil des fiches pour affiner les résultats obtenus. De plus, en raison des difficultés métrologiques ayant été rencontrées sur les équipements de soudage par résistance, de nouvelles mesures seront réalisées avec des appareils adaptés.

5 CONCLUSION

A notre connaissance, aucune détermination du parc français de machines industrielles émettantes dans le domaine des rayonnements électromagnétiques n'avait été réalisée jusqu'à aujourd'hui. Cette étude a permis d'estimer, en particulier, le nombre minimum de postes de travail exposés à environ 100 000.

Huit familles d'équipements ont été retenues comme rayonnantes parmi celles-ci, nous avons procédé à la mesure de 635 postes de travail. Les résultats ont montré que les équipements de 7 familles sont susceptibles d'exposer les opérateurs à des champs électromagnétiques dont les intensités sont supérieures aux VDA fixées par la directive européenne 2004/40/CE. La directive étant en cours de modification, cette constatation est susceptible d'évoluer en fonction des nouvelles valeurs limites qui seront recommandées.

L'étude met également en évidence que l'exposition à des champs électromagnétiques n'est pas une fatalité. Il existe différentes solutions efficaces (éloignement, blindage, réduction à la source) pour atténuer les champs électromagnétiques aux postes de travail.

Les résultats, en particulier la création d'une banque de données « champs électromagnétiques », concernant les applications émettant des rayonnements électromagnétiques, permettront à l'employeur d'évaluer sans faire de mesures, si des installations industrielles présentent a priori un risque pour les opérateurs et/ou le personnel évoluant à proximité.

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Madame H. Castro (CARSAT Midi-Pyrénées) et Messieurs C. Bissériex (CARSAT Auvergne), P. Laurent (Carsat Centre-Ouest), Ph. Cabaret (CARSAT Languedoc-Roussillon), C. Bonnet (Carsat Centre), E. Marteau (CRAM Ile de France), G. Le Berre (CARSAT Bretagne), S. Tirlemont (CARSAT Nord-Picardie), A. Becker (INRS-CIMPE) qui ont réalisé la plupart des mesures de champs électromagnétiques aux postes de travail et fourni les solutions de prévention.

7 BIBLIOGRAPHIE

[1] – 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.

[2] – Electromagnetic fields in the working environment – Dutch Ministry of Social Affairs and Employment.- Juin 2006.

[3] – HERRAULT J., DONATI P. - Soudage par résistance – Cartographie du champ magnétique et prévention – Cahiers de notes documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 2006, HST ND 2252 - 204 – 06.

[4] – Champs électromagnétiques : fiches pratiques INRS ED 4200 à 4217.