

Annule et remplace la note documentaire  
ND 2176-188-02

# SOUDAGE PAR RÉSISTANCE - CARTOGRAPHIE DU CHAMP MAGNÉTIQUE ET PRÉVENTION

- Soudage par résistance
- Rayonnement non ionisant (RNI)
- Champ magnétique
- Risque
- Mesure de prévention

► *Joëlle HERRAULT, Patrice DONATI,*  
INRS, Département Ingénierie des équipements  
de travail

La distribution du champ magnétique autour de plusieurs machines de soudage par résistance a été étudiée afin de prendre des mesures de prévention. Les résultats de mesurages confirment que les niveaux émis peuvent dépasser les valeurs indiquées par la commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) au-delà desquelles des risques pour la santé seraient possibles. Outre la cartographie des champs, cet article décrit le principe du soudage par résistance, rappelle les risques pour la santé liés à l'exposition à ce type de champ magnétique, présente la réglementation et donne quelques conseils de prévention.

Les mesures de rayonnement électromagnétique effectuées par l'INRS en entreprises et réalisées autour de machines à souder par résistance ont montré que les niveaux émis pouvaient dépasser, au poste de travail, les valeurs de référence au-delà desquelles existeraient des risques pour la santé [1, 2].

Le principe du soudage par résistance repose sur le passage d'un courant de forte intensité à travers deux pièces conductrices. Ce principe implique la génération d'un champ magnétique à proximité de ces machines. Une étude menée par l'INRS en 1999 et 2000 a permis d'en quantifier l'intensité et d'en connaître la cartographie, afin de contribuer à une meilleure connaissance du risque encouru par les salariés pratiquant des soudures avec ces machines, et plus particulièrement les porteurs de stimulateurs cardiaques. En effet, les

médecins du travail sont de plus en plus souvent confrontés au problème de l'aptitude des salariés qui reprennent une activité, après l'implantation d'un tel stimulateur [1, 3]. La réalisation de mesures de rayonnements électromagnétiques nécessite l'intervention d'un expert et la mise en oeuvre d'un équipement peu répandu.

Afin de faciliter le travail des responsables de sécurité, un modèle a été étudié, permettant de prévoir, dans certaines conditions, les valeurs de champ magnétique, à partir des caractéristiques des machines.

Outre la cartographie des champs, cet article décrit le principe du soudage par résistance, rappelle les risques pour la santé liés à l'exposition à ce type de champ magnétique, présente la réglementation dans ce domaine et fournit quelques conseils de prévention.

## RESISTANCE WELDING - MAGNETIC FIELD MAPPING AND RISK PREVENTION

The distribution of the magnetic field around several resistance welding machines was studied with a view to applying prevention measures if necessary. The measurement results confirmed that the emitted levels could exceed the standard reference values beyond which health risks could exist. In addition to field mapping, this article describes the principle of resistance welding, reviews the health risks linked to exposure to this type of magnetic field, presents the regulations in force, and offers some prevention advice.

- Resistance welding
- Non-ionising radiation (NIR)
- Magnetic field
- Risk
- Preventive measure

## PRINCIPE DU SOUDAGE PAR RÉSTANCE

Le soudage par résistance [4, 5, 6] est un soudage autogène, c'est-à-dire que deux pièces d'un même métal sont soudées sans utilisation d'un métal d'apport.

Le métal est chauffé par « effet Joule » dû au passage d'un courant électrique qui traverse les électrodes et les pièces à assembler au point de soudage. Simultanément, une pression de forgeage est exercée par l'intermédiaire des électrodes, pour obtenir l'interpénétration du métal des deux pièces et, plus souvent, un noyau fondu.

Une soudure se décompose en trois phases successives :

- l'accostage (mécanique),
- le soudage (électrique),
- le forgeage (métallurgique).

Il existe plusieurs principes de soudage par résistance : à courant continu, par courant alternatif, par décharge de condensateur et à moyenne fréquence. Le procédé par courant alternatif (AC) est le principal et le plus couramment utilisé, alors que le procédé moyenne fréquence (MF) est actuellement en développement. Les deux autres sont moins répandus, et n'ont pas été étudiés.

La commande électronique, ainsi que le transformateur, déterminent le courant maximal qui peut être généré. Un même châssis peut recevoir différentes commandes, ainsi que différentes formes de tête de soudage, pour les deux principes (AC et MF).

### SOUDAGE PAR COURANT ALTERNATIF (AC)

La majorité des machines à souder par résistance, utilisées actuellement dans l'industrie, met en oeuvre la fréquence du secteur, soit 50 Hz.

Le réglage du courant de soudage s'effectue par l'ajustage de la puissance électrique au primaire d'un transformateur, ce réglage étant obtenu en faisant varier le déphasage entre la tension et le courant. Pour ce faire, l'intensité du courant  $I_1$  (cf. *Figure 1*) est « découpée » au moyen de deux thyristors montés tête-bêche, qui assurent la fonction de commutateur électronique. La puissance et par conséquent le courant de soudage  $I_2$  est réglable de 20 à 99 % de la valeur maximale en modifiant le déphasage  $\varphi$  entre le courant et la tension au primaire du transformateur (cf. *Figure 2*). Le temps de soudure est réglé en ajustant le nombre de périodes pendant lesquelles l'intensité passe (n fois 20 ms).

### SOUDAGE MOYENNE FRÉQUENCE (MF)

Le procédé de « soudage moyenne fréquence redressée » (MF) se développe actuellement, mais est moins commun que l'AC (moins de 1 % du marché).

Le principe est un onduleur qui transforme le signal sinusoïdal du secteur 50 Hz en signal carré 1 000 Hz qui est ensuite redressé.

Du fait de sa faible utilisation, on ne s'intéressera qu'au procédé « courant alternatif » (AC) dans la suite de cet article.

### DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE MACHINES DE SOUDAGE PAR RÉSTANCE

Il y a quatre principaux types de machines qui peuvent être commandées par l'un ou l'autre des procédés définis précédemment :

- machines à souder par point sur châssis (presse) ;
- pinces standard (transformateur intégré) ;
- pinces à câble (transformateur déporté) ;
- machines à souder à la molette.

Pour toutes ces machines, une commande électronique permet de régler les cycles de soudage, la durée du passage du courant et son intensité. Ces

FIGURE 1

Schéma électrique d'une machine à souder de procédé AC  
Wiring diagram of an AC welding machine

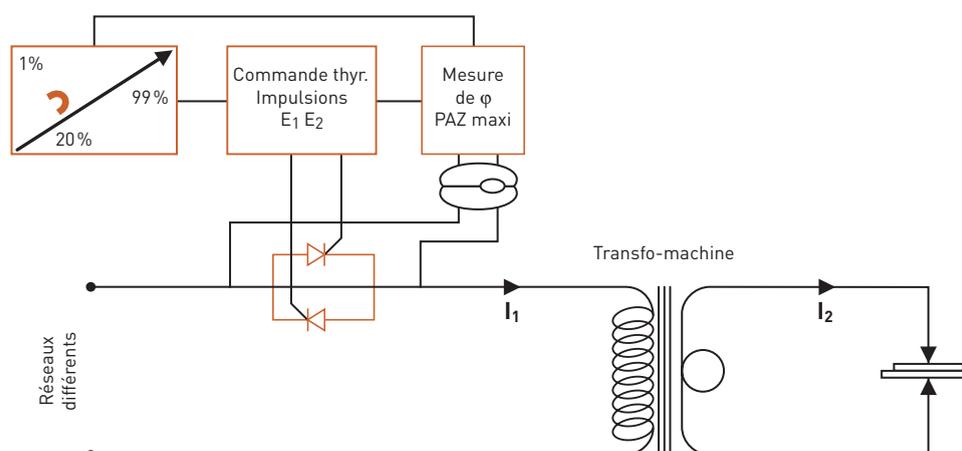
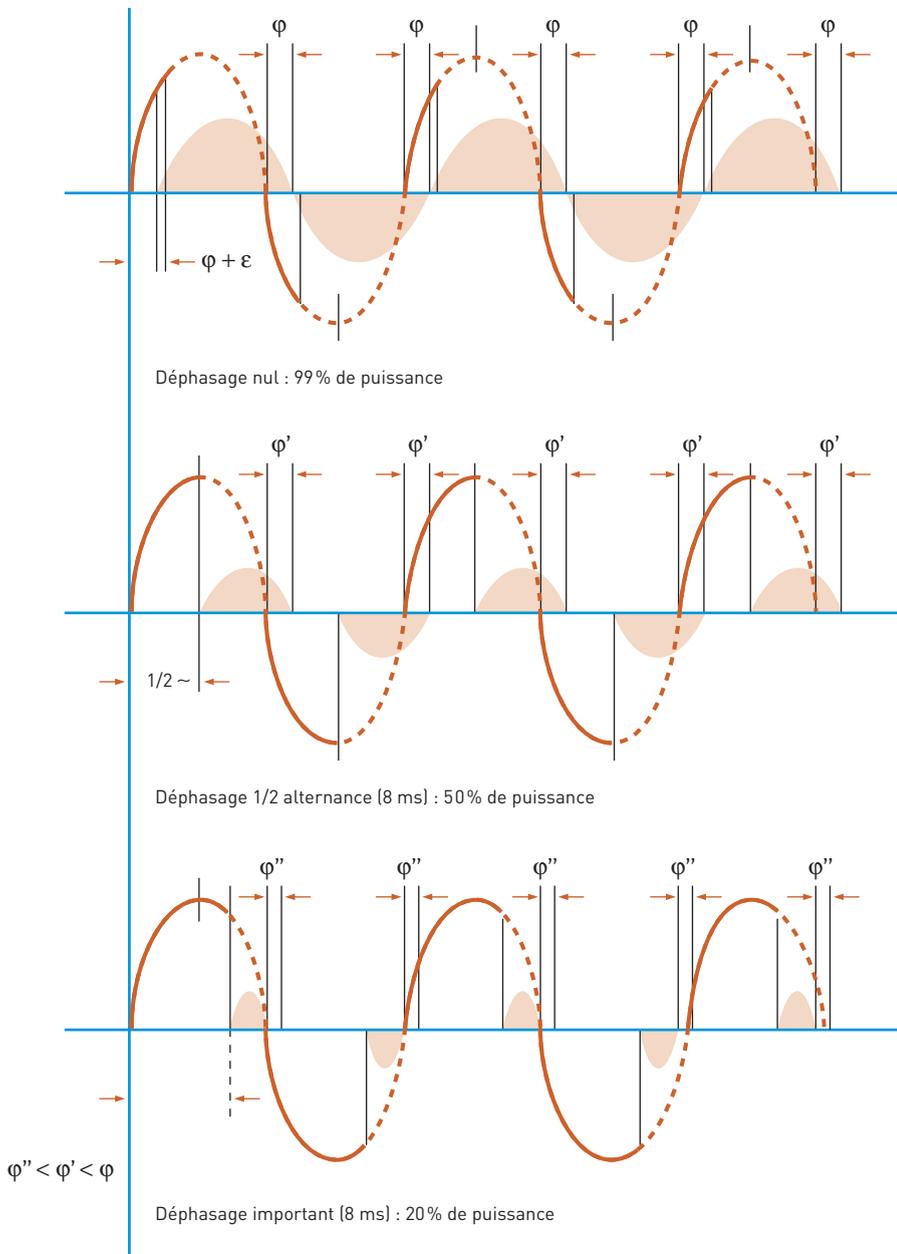


FIGURE 2

### Réglage du courant de soudage par modification du déphasage $\phi$ Regulating the welding current by phase shift ( $\phi$ ) modification



paramètres sont programmés en fonction des pièces à souder. Il est possible de programmer un très grand nombre de combinaisons de ces paramètres.

On rencontre aussi des machines à souder en bout, qui permettent l'assemblage de deux pièces bout à bout.

### Machine à souder par point sur châssis (presse)

Les presses à souder par point (cf. *Figure 3*) peuvent réaliser un point ou plusieurs points simultanément. Elles sont utilisées pour le soudage de petites pièces qui peuvent être facilement manipulées.

Sur ces machines, le poste de travail est situé à l'avant de la boucle de courant.

FIGURE 3

### Exemple de presse à souder par point Example of a spot welding machine

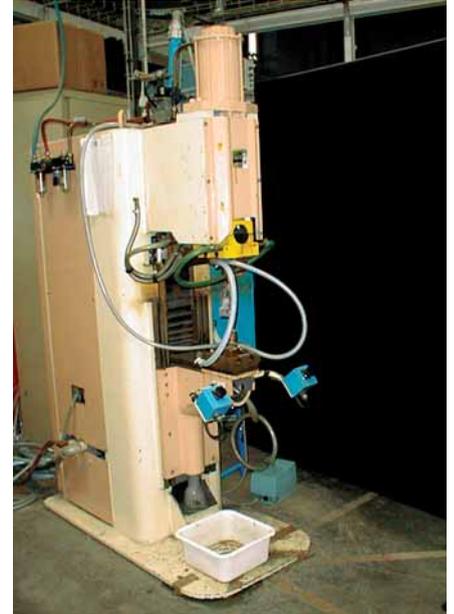


FIGURE 4

### Exemple de pince à transformateur intégré Example of a spot welding gun with onboard transformer



### Pince standard (transformateur intégré)

Les pinces de soudage à transformateur intégré (cf. *Figure 4*) sont utilisées pour réaliser des soudures sur des pièces de grandes dimensions, lourdes qui ne peuvent pas être manipulées par l'opérateur.

Elles sont suspendues par des systèmes de poulies et pèsent entre 50 et 100 kg.

Le poste de travail est situé à l'arrière, en amont du transformateur.

### Pince à câble (transformateur déporté)

Ces pinces (cf. *Figure 5*) sont plus légères et maniables que celles à transformateur intégré. Elles sont utilisées pour des applications où l'accessibilité des points de soudure est difficile, sur de gros volumes (par exemple : carrosserie de voiture).

Le poste de travail est situé entre le transformateur et la pince, à l'arrière de celle-ci. Les câbles de liaison qui véhiculent le courant de soudage sont très proches du corps de l'opérateur.

### Machine à souder à la molette

Cette machine (cf. *Figure 6*) est un dérivé de la presse à souder par point (cf. *Chapitre « Machine à souder par point sur châssis »*). Elle permet de réaliser un soudage par points répétitifs à intervalles contrôlés. La soudure a l'aspect d'une ligne.

Le poste de travail est situé face à la machine ou sur le côté des molettes.

## CARTOGRAPHIE DU CHAMP ÉMIS

### TYPOLOGIE DU CHAMP

Le champ produit à proximité des machines de soudage par résistance est essentiellement un champ magnétique à la fréquence de 50 Hz, contenant des harmoniques qui sont la conséquence du « hachage » du signal utilisé pour régler le courant de soudage (cf. *Figure 7*). Pour un réglage à 99 % de puissance (cf. *Figure 2*) le signal est quasiment une sinusoïde d'où un taux d'harmoniques plus faible qu'à 20 % de puissance.

Ces machines émettent également un champ électrique, mais il est très faible en référence à la directive 2004/40/CE [2], il n'a donc pas été mesuré systématiquement.

Les mesures du champ magnétique ont été réalisées uniquement sur la fréquence fondamentale (50 Hz) compte

FIGURE 5 (a et b)

Exemples de pinces à transformateur déporté  
Example of spot welding guns with remote transformer

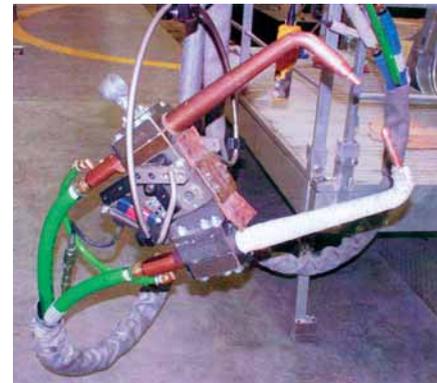


Figure 5 b

Figure 5 a

tenu de la faiblesse des niveaux des harmoniques en regard des niveaux de référence de cette même norme.

### POINTS DE MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE

Le champ magnétique a été mesuré au moyen d'un champmètre portatif basses fréquences muni d'une sonde de précision isotrope (cf. *Figure 8*). Cet instrument était réglé pour la mesure de la valeur efficace maximale avec le filtre sélectif réglé sur 50 Hz. Il était posé sur un trépied réglable en hauteur.

Les mesures ont été répétées dans plusieurs plans horizontaux (de 6 à 9) tous les 10 cm, de part et d'autre du plan de l'électrode. Les points de mesure ont été choisis dans chaque plan horizontal, selon la cartographie donnée par la *Figure 9*. Trois axes de mesure ont été explorés : A = face à l'électrode (0°), B à 45°, et C normalement au plan formé par la boucle de courant (90°).

Des mesures ponctuelles ont également été faites vers l'arrière des machi-

nes, en amont du transformateur, et à proximité des armoires de commande.

### MACHINES MESURÉES

- Les mesures ont été faites sur :
- 3 presses à souder par point,
  - 2 pinces à transformateur intégré,
  - 1 pince à transformateur déporté,
  - 1 machine à souder à la molette,
  - 1 machine à souder en bout.

Ces machines n'étaient pas utilisées en production, car les contraintes correspondantes n'auraient pas permis d'effectuer des mesures systématiques. Les expérimentations ont été réalisées dans les locaux de l'Institut de soudure à Villepinte, tous les paramètres pouvaient être maîtrisés.

### RÉSULTATS DES MESURES

Pour l'ensemble des machines étudiées, il apparaît que :

- Le champ est le plus faible face à l'électrode (A). A distance égale, il augmente sur les côtés de la boucle

FIGURE 6

Exemple de machine à souder à la molette  
 Example of a seam welding machine



FIGURE 7

Visualisation du courant de soudage et de son spectre  
 The welding current and its spectrum

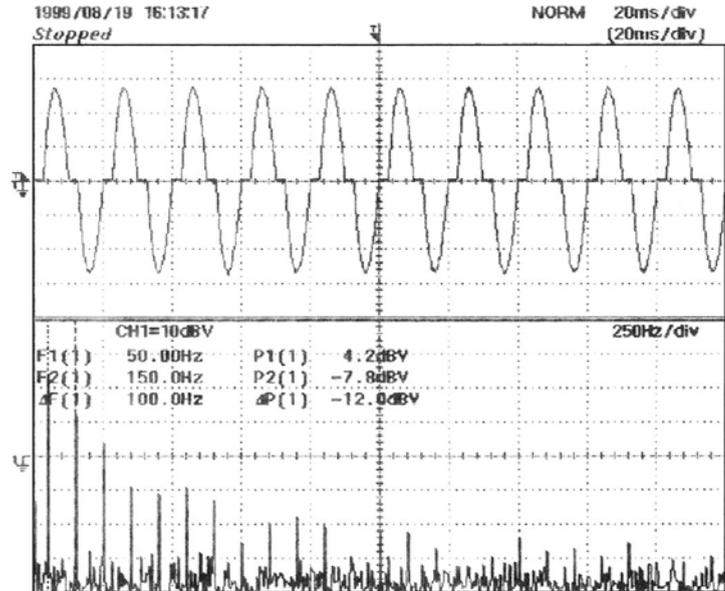


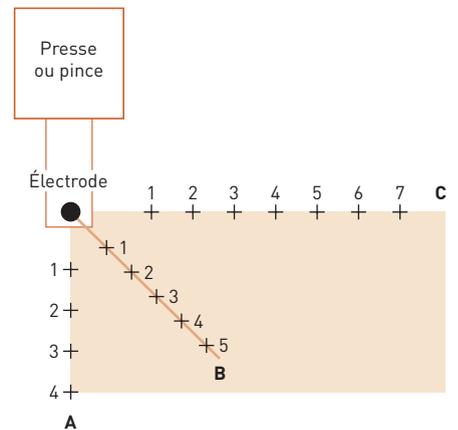
FIGURE 8

Illustration d'une situation de mesure avec le champmètre portable  
 Illustration of a measurement situation with the portable field meter



FIGURE 9

Disposition des points de mesure dans un plan horizontal  
 Arrangement of measurement points in a horizontal plane



formée par le circuit de courant (exploration des axes B et C) (cf. Figure 10).

■ Pour les trois axes explorés (A, B et C), le champ est le plus fort dans le plan horizontal situé à la hauteur du point de soudure. Plus on s'éloigne vers le haut ou vers le bas, plus le champ décroît (cf. Figure 11).

■ Pour les presses à souder, le champ magnétique est très faible à l'arrière, et à proximité des armoires de commande.

■ Pour les pinces à transformateur intégré, le champ est faible à l'arrière, là où l'opérateur est positionné.

■ Pour les pinces à transformateur déporté, le champ est très élevé le long du câble de connexion entre le transformateur et la pince.

■ Le temps de soudage n'a pas d'influence sur la valeur de champ (hormis qu'il doit être supérieur à 100 ms pour être mesuré par le champmètre).

■ Le champ magnétique est directement proportionnel à la valeur du courant de soudage (cf. Figure 12), comme prévu par la théorie.

## PRÉVISION DU CHAMP MAGNÉTIQUE PAR CALCUL

### MODÉLISATION

Afin de déterminer la valeur du champ magnétique en un point donné, à partir des caractéristiques d'une machine, un programme de calcul du champ « Teslasoft » a été développé sous Microsoft Excel<sup>®</sup>, et à l'aide d'outils de Visual Basic Editor, par l'Institut de soudure [7].

Le modèle choisi pour reproduire le circuit du courant de soudage est l'assemblage de quatre éléments conducteurs rectilignes filiformes, qui schématise la forme de l'électrode (cf. Figure 13).

Compte tenu des hypothèses simplificatrices adoptées dans la modélisation, le calcul est valable dans un milieu homogène en terme de perméabilité magnétique. De ce fait, cet outil est principalement approprié au calcul du champ magnétique au poste de travail des presses à souder par point. Dans le cas des pinces de soudage, le poste de travail est généralement situé à l'arrière de la boucle de courant. Le modèle ne permet pas de définir l'exposition à cet endroit.

FIGURE 10

Décroissance de champ magnétique B en fonction de la distance à l'électrode d et de l'axe de mesure exploré (cf. Figure 9) pour le plan situé à 0,80 m du sol - exemple d'une pince à transformateur intégré

Magnetic field B decay as a function of the distance from the electrode d and of the measurement axis explored (figure 9) for the plane located 0.80 m from the ground - example of a spot welding gun with an onboard transformer

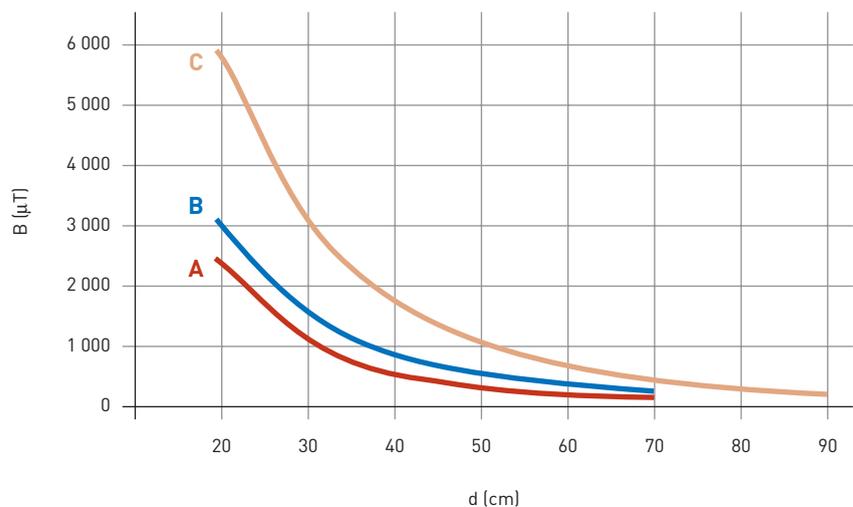
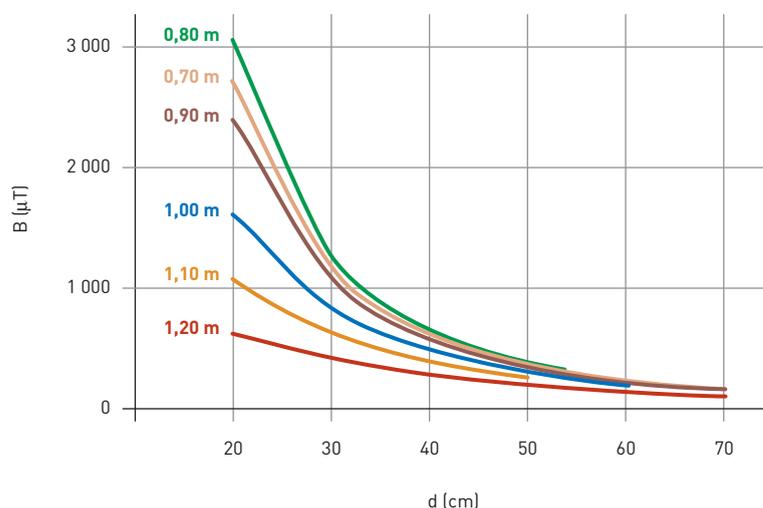


FIGURE 11

Décroissance du champ magnétique B en fonction de la distance à l'électrode d, pour l'axe A (cf. Figure 9) et les 6 hauteurs du plan de mesure - Exemple d'une pince à transformateur intégré dont le point de soudure (milieu de la boucle) est à 0,80 m du sol

Magnetic field B decay as a function of the distance from the electrode d for axis A (figure 9) and the six measurement plane heights - Example of a spot welding gun with an onboard transformer, the welding point of which (middle of the lopp) is 0.80 m from the ground



La loi de Biot et Savart donne une expression du vecteur champ magnétique élémentaire créé par une portion élémentaire du fil parcouru par un courant d'intensité I [A] en un point situé à une distance R [m] de cette portion qui est la suivante :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{z} \wedge \vec{R}}{R^3}$$

Où  $\mu_0$  est la perméabilité du vide  
 $\mu_0 = 4 \cdot \mu \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

FIGURE 12

Évolution du champ magnétique B en fonction du courant de soudage I - Exemple d'une presse à souder  
Change in magnetic field B as a function of welding current I - Example of a welding press

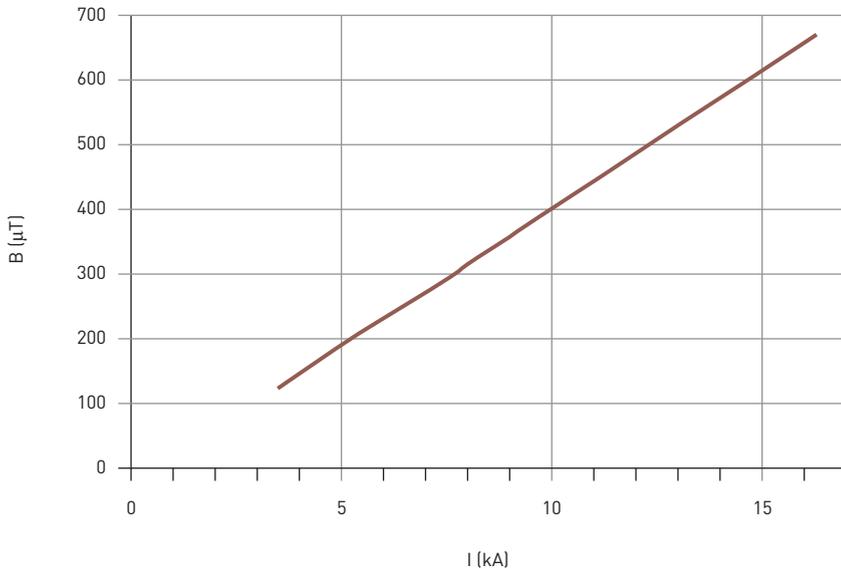


FIGURE 13

Géométrie d'une boucle de courant dans le cas de l'électrode d'une presse à souder par point  
Geometry of a current loop in the case of the electrode of a spot welding machine

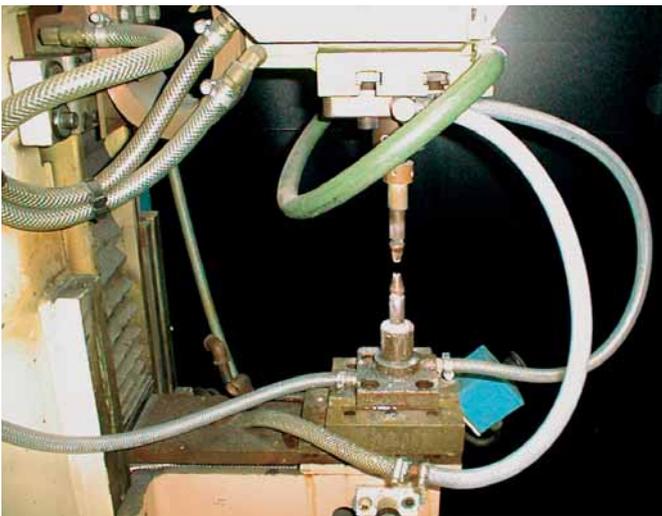
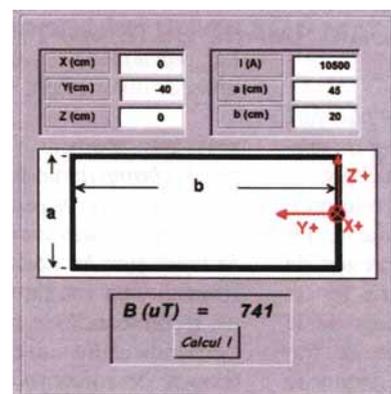


FIGURE 14

Copie de l'écran de saisie du logiciel de calcul du champ magnétique - Exemple pour une boucle de courant de hauteur 45 cm et de longueur 20 cm, un courant de 10 500 A, B = 741 μT correspond au champ calculé au point situé à 40 cm devant l'électrode et à la hauteur de la demi-boucle (en général hauteur du point de soudure).

Copy of the data-entry screen of the magnetic field calculation software - Example for a current loop with a height of 45 cm and a length of 20 cm, a current of 10,500 A, B = 741 μT corresponds to a field calculated at a point located 40 cm in front of the electrode at half-loop height (in general the height of the spot weld)



La simulation montre que :

- Le champ magnétique est directement proportionnel à l'intensité du courant de soudage, ce qui confirme les mesures exploratoires.

- La hauteur de boucle (a) a une influence sur la valeur de champ magné-

tique plus importante que celle de sa longueur (cf. Figure 14). Pour une même surface, une boucle plus haute produira un champ plus fort.

- Pour un même courant, plus la surface de la boucle est grande, plus le champ est fort.

- Le champ magnétique varie avec la

position du point calculé : il décroît très fortement lorsque l'on s'éloigne de la position  $z = 0$  (vers le haut ou le bas) ( $z = 0$  correspond au milieu de la boucle, en général le point de contact des électrodes) et augmente fortement lorsque l'on se place sur la normale au plan de la

boucle de courant. Ces constatations sont en bon accord avec les résultats des mesures.

Le logiciel permet de calculer le champ magnétique en un point donné, pour un courant déterminé, à partir de la connaissance des deux dimensions de la boucle de courant. Il suffit de saisir la valeur du courant, les coordonnées spatiales du point où on souhaite connaître la valeur du champ, ainsi que la hauteur et la longueur de la boucle de courant (cf. *Figure 14*).

### VALIDATION DU MODÈLE

Pour valider le logiciel de simulation, on compare les valeurs du champ magnétique, mesuré et calculé (cf. *Tableau I*).

La comparaison des résultats théoriques et expérimentaux permet de mettre en évidence les limites suivantes :  
 ■ Il faut mesurer précisément les dimensions intérieures de la boucle de courant (a et b). En effet, le résultat peut varier fortement, avec une erreur d'un centimètre sur l'une des dimensions.

■ Quand on se place à la hauteur du point de soudage (plan dans l'axe horizontal de la boucle de courant), là où le champ est maximum, la valeur de champ calculée correspond à celle mesurée pour des distances de plus de 30 cm par rapport au point de soudure, et ce dans les trois axes (en face A, à 45° B et à 90° C).

■ Dans la majorité des cas (à une distance supérieure à 20 cm du point de soudure), le calcul surévalue légèrement la valeur de champ, ce qui va dans le sens de la sécurité.

Ce logiciel permet une bonne approximation du champ au poste de travail des presses de soudage par résistance. Si le calcul conduit à une valeur de champ magnétique supérieure au niveau de référence à respecter, des mesures de vérification seront nécessaires.

TABLEAU I

Comparaison des valeurs de champ B mesurées et calculées -  
 Exemple d'une presse (a = 37 cm et b = 32 cm) -  
 En face du point de contact de l'électrode (z = 0, x = 0)  
 Comparison of the values of field B and calculated -  
 Example of a press (A = 37 cm and B = 32 cm) -  
 Opposite the point of contact of the electrode (Z = 0, X = 0)

Distance Y (m)	B (µT) calculé	B (µT) mesuré	Différence	Pourcentage d'erreur (%)	I RMS (A)
0,2	3 883	3 956	- 73	- 2	11 940
0,3	1 768	1 714	54	3	12 460
0,4	904	896	8	1	12 070
0,5	525	509	16	3	11 800
0,6	337	323	14	4	11 800
0,7	238	228	10	4	12 200

TABLEAU II

Récapitulatif des conseils pour l'organisation et la conception du poste de travail en fonction des machines  
 Consolidated advice for workstation organisation and design according to machinery

TYPE DE MACHINE	CONSEILS
Presse	Le poste de travail sera face à la presse et le plus loin possible
Pince à transfo intégré	En travail à plusieurs opérateurs, éviter que le poste de travail se trouve sur le côté de la boucle de courant
Pince à transfo déporté	Le passage du câble se fera le plus loin possible de l'opérateur

### CONCLUSION ET CONSEILS DE PRÉVENTION (cf. *Tableau II*)

*Le champ magnétique est le plus fort sur le côté de la boucle de courant de soudage pour toutes les machines étudiées.*

Il peut dépasser la valeur déclenchant l'action indiquée par la directive 2004/40/CE (500 µT) [2] au poste de travail des presses de soudage quand le courant est très fort et que l'opérateur se tient près de la machine. Il est donc préférable d'organiser le poste de travail de façon à éloigner le plus possible l'opérateur.

*Le champ magnétique à 50 Hz supérieur à 50 µT et les nombreux harmoniques de la fréquence du secteur qui sont présents, pourraient être à la source de perturbations pour les stimulateurs cardiaques.* Par conséquent, ne connaissant pas la susceptibilité de tous les implants actifs, il est préférable, par mesure de précaution, d'éviter l'expo-

sition directe de toute personne implantée, au champ émis par ces machines. Les pictogrammes d'avertissement et d'interdiction devraient être présents sur toutes ces machines (cf. *Figure 15*) [15].

FIGURE 15

Pictogramme d'interdiction pour les porteurs de stimulateur cardiaque et d'avertissement de la présence d'un champ magnétique  
 "No entry" logotype for wearers of pacemakers and magnetic field warning logotype



Sur les pinces à transformateur déporté, le champ est très élevé autour du câble de liaison entre le transformateur et la pince. Le salarié se trouve très exposé au champ magnétique en les utilisant. Pour limiter cette exposition, le passage du câble se fera le plus loin possible des opérateurs. Par précaution, ces pinces devraient être utilisées uniquement sur des robots.

Pour les pinces à transformateur intégré, le champ au poste de travail (à l'arrière de la pince et du transformateur) est toujours inférieur à la valeur déclenchant l'action indiquée par la directive [2]. En revanche, en cas de travail à plusieurs, il faudra éviter qu'un poste de travail se trouve sur le côté de la boucle de courant (perpendiculairement au plan de la pince), car le champ peut y dépasser la valeur recommandée.

### Remerciements

Cette étude a été réalisée en collaboration avec l'Institut de soudure de Villepinte (95), qui a mis à la disposition de l'INRS des machines de soudage par résistance et a réalisé le modèle de prévision du champ.

Révisé le : 09/05/2006

## ANNEXE I

### RISQUES POUR LA SANTÉ (CONNUS ET SUPPOSÉS) DU CHAMP MAGNÉTIQUE À 50 HZ HEALTH RISKS (KNOWN AND ASSUMED OF THE 50 HZ MAGNETIC FIELD)

Les champs électromagnétiques peuvent avoir des conséquences sur la santé [8]. Leurs effets sont très variables et sont fonction de leur fréquence et de leur intensité.

Le champ émis par les machines à souder par résistance est un champ magnétique à 50 Hz qui présente des harmoniques. Il se situe dans la catégorie des basses fréquences (ELF, Extremely Low Frequencies).

### EFFETS CONNUS

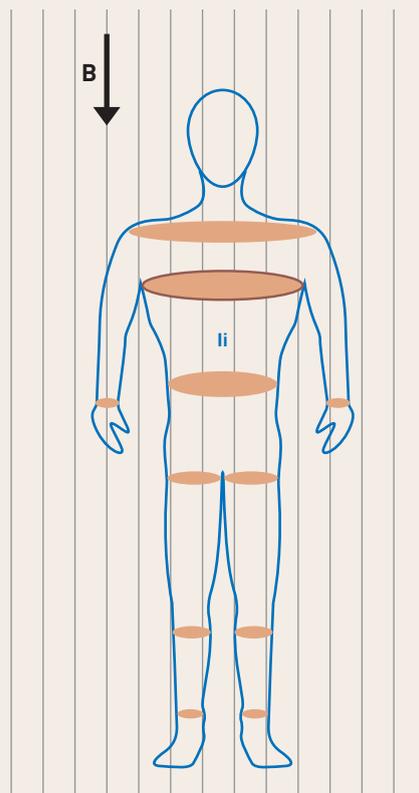
Les effets connus sont des effets avérés, qu'il est possible d'observer, de reproduire, de décrire. Ils existent durant l'exposition aux champs et disparaissent quand l'exposition cesse.

La densité de flux magnétique ( $B$ ) à basses fréquences induit des boucles de courants ( $I_i$ ) dans le corps humain, perpendiculaires au vecteur du champ appliqué.

Ces courants induits peuvent provoquer, à partir de certains niveaux, une perception de picotements, de micro-décharges nerveuses et engendrer des contractions musculaires.

## EFFETS INCRIMINÉS

D'autres effets que pourraient produire ces champs sont soupçonnés. L'OMS [9] mène actuellement un projet international EMF (ElectroMagnetic Fields) qui encourage la recherche internationale à établir d'éventuelles corrélations entre l'exposition aux champs électromagnétiques et l'apparition des cancers et des maladies du système nerveux central.



## ANNEXE II

### NORMES, RECOMMANDATION ET DIRECTIVE EUROPEENNES EUROPEAN STANDARDS, RECOMMENDATION AND DIRECTIVE

### NORMES

Les normes de sécurité NF EN 12198-1, -2 et -3 [10, 11, 12] traitent de l'émission de rayonnements par les machines. Ces normes fournissent des conseils aux constructeurs en vue de la réalisation de machines sûres :

- méthode d'identification des émissions de rayonnement ou des champs,
- détermination de leur portée et de leur intensité,
- moyens utilisables pour éviter ou réduire les émissions de rayonnements non ionisants.

En référence à ces normes, pour la fréquence de 50 Hz, la machine sera en catégorie 0, si son émission en champ magnétique est inférieure à  $100 \mu\text{T}$  ; elle sera en catégorie 1 si le champ magnétique est compris entre  $100 \mu\text{T}$  et  $500 \mu\text{T}$  ; au-delà de  $500 \mu\text{T}$ , la machine sera en catégorie 2.

### RECOMMANDATION EUROPÉENNE

La recommandation européenne du 12 juillet 1999 [14] concerne uniquement l'exposition du grand public et est basée sur les niveaux de référence indiqués par l'ICNIRP.

Pour le 50 Hz, la valeur de champ magnétique indiquée est de  $100 \mu\text{T}$ .

## Recommandation internationale

L'ICNIRP (Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants) est chargée depuis 1992 d'étudier les risques potentiels liés aux différents types de rayonnements non ionisants (RNI), d'élaborer des guides internationaux pour l'établissement de limites d'exposition et de traiter de tous les aspects de la protection contre ces rayonnements (travailleurs et public).

En 1998, cette commission publie un guide dans Health Physics traduit en note documentaire (ND 2143) de l'INRS. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) travaille en lien étroit avec cette commission. Les niveaux définis par l'ICNIRP peuvent servir de préconisation mais ne constituent pas une obligation réglementaire.

## DIRECTIVE EUROPÉENNE

La directive sociale « agents physiques » spécifique aux champs électromagnétiques 2004/40/CE du 29 avril 2004 fixe les prescriptions minimales en matière de protection des travailleurs, c'est-à-dire toute personne en activité professionnelle dès lors qu'elle peut être exposée à une source de champs électromagnétiques en relation ou non avec sa propre activité.

Elle reprend les principes généraux de prévention ainsi que les restrictions de base et les niveaux de référence de l'ICNIRP. Elle doit être transposée en droit français au plus tard en avril 2008.

## Spécifications de la directive

Les valeurs limites d'exposition (VLE) correspondent aux restrictions de base définies par l'ICNIRP. Elles dépendent de la fréquence. Ce sont les limites en dessous desquelles il n'y aurait pas d'effets nocifs connus sur la santé. Elles ne sont pas directement quantifiables.

Les valeurs déclenchant l'action correspondent aux niveaux de référence définis par l'ICNIRP. Ce sont des grandeurs mesurables, obtenues à partir des VLE, utilisées pratiquement pour évaluer les expositions. Au-dessus de ces niveaux, il convient de mettre en œuvre des mesures de prévention.

Le respect des valeurs déclenchant l'action garantit le respect des valeurs limites d'exposition. Elles ont été établies à partir des effets reconnus nocifs à court terme sur le corps humain. Les effets à long terme et les effets sur les implants ne sont pas pris en compte.

## Valeur déclenchant l'action pour la fréquence de 50 HZ

Pour la fréquence de 50 Hz, la valeur déclenchant l'action de l'induction magnétique, qu'il est préférable de ne pas dépasser en milieu professionnel est de 500  $\mu$ T.

Cette valeur est souvent dépassée à proximité des machines de soudage par résistance.

Cette valeur n'est pas valable pour les implants actifs (stimulateur cardiaque, défibrillateur...) pour lesquels il est impossible de connaître le degré de susceptibilité de chacun des nombreux modèles.

## Obligations des employeurs

■ Évaluation des risques et détermination de l'exposition :

L'employeur doit évaluer et, si nécessaire, mesurer et/ou calculer les niveaux de champs électromagnétiques auxquels les travailleurs sont exposés.

■ Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques :

La réduction des risques résultant de l'exposition à des champs électromagnétiques repose sur les principes généraux de prévention figurant dans la directive 89/391/CEE.

Lorsque les valeurs déclenchant l'action sont dépassées, l'employeur doit établir et mettre en œuvre un programme comportant des mesures techniques et/ou organisationnelles visant à empêcher que l'exposition ne dépasse les valeurs limites d'exposition.

Les lieux de travail où les travailleurs pourraient être exposés à des champs électromagnétiques dépassant les valeurs déclenchant l'action doivent faire l'objet d'une signalisation adéquate.

■ Information et formation des travailleurs :

Les personnels exposés à des champs électromagnétiques doivent être informés du résultat de l'évaluation des risques (des mesures le cas échéant). Ils doivent être informés de la manière de dépister les effets nocifs d'une exposition sur la santé et de les signaler. Ils doivent savoir qu'ils ont droit à une surveillance médicale.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] FRENETTE Y. - Soudeuses par point : attention au risque invisible. *Travail et Santé*, 1996, 12, 4, pp. 23-26.
- [2] Directive 2004/40/CE du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques physiques (champs électromagnétiques).
- [3] GAGNY C., PRIEUR G. - Stimulateurs cardiaques. Perturbations électromagnétiques en milieu professionnel. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1996, 162, ND 2014, pp. 55-64.
- [4] HEE G. - Cours INRS/ETA/RPM/GHe/06-95 - Soudage électrique et procédés connexes. Paris, INRS, 1995, doc. interne.
- [5] DROUART C. - Soudage par résistance - Publications du soudage et de ses applications. *Villepinte, Institut de Soudure*, 1993, 283 p.
- [6] NEGRE J. - Le soudage électrique par résistance. Villepinte, Publications de la soudure autogène, 1979, 545 p.
- [7] CRETIN S., MELLARD J. - Étude des champs magnétiques en soudage par résistance. *Villepinte, Institut de Soudure*, 2000, Rapport technique n° 35882, 33 p.
- [8] Fiches de la série Champs électromagnétiques : ED 4203 - Les effets des rayonnements non ionisants sur l'homme (2005), ED 4204 - La réglementation en milieu professionnel (2005), et ED 4206 - Les stimulateurs cardiaques (2004)
- [9] Projet EMF Genève, OMS, consultable sur le site : [http://www.who.int/peh-emf/description/desc\\_french.htm](http://www.who.int/peh-emf/description/desc_french.htm).
- [10] NF EN 12198-1 - Sécurité des machines. Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines. Partie 1 : Principes généraux. *Bruxelles, CEN*, août 2000, 27 p.
- [11] pr NF EN 12198-2 - Sécurité des machines. Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines. Partie 2 : Procédures de mesurage des émissions de rayonnement. *Bruxelles, CEN*, janv. 2000, 17 p.
- [12] pr NF EN 12198-3 - Sécurité des machines. Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines. Partie 3 : Réduction du rayonnement par atténuation ou par écran. *Bruxelles, CEN*, 2000.
- [13] ICNIRP - 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*, 2001, 182, ND 2143, pp. 19-47.
- [14] Recommandation du conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz). *Journal Officiel des Communautés Européennes*, n° L 199 du 30 juillet 1999, pp. 59-70.
- [15] SOUQUES M., FRANK R. et coll. Effets des champs magnétiques de 50, 60 Hz et de 20 à 50 kHz sur le fonctionnement des cardiostimulateurs implantés. *Environnement, Risques et Santé*. Vol 1, n°2, 2002.