

## Soudage par résistance

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le soudage par résistance est un procédé de soudage de pièces métalliques sans métal d'apport. Un cycle de soudage se décompose en trois phases. Les pièces à souder sont traversées par un courant intense qui provoque une forte élévation de température par effet joule.

Selon la norme française NF ISO 4063 (février 2011), il existe une vingtaine de procédés de

soudage. Les plus usuels sont représentés sur la *figure 1* page suivante :

■ le soudage par point permet d'obtenir une soudure par recouvrement discontinue. Une pression de serrage élevée, un temps de soudage très bref et un courant de soudage intense caractérisent cette technique. La forme des électrodes détermine la concentration du courant ;

■ le soudage à la molette permet d'obtenir une soudure par recouvrement continue étanche. À égalité d'épaisseur, ce procédé demande des courants plus intenses et des pressions plus fortes que le soudage par point ;

■ le soudage par bossage (des protubérances sont préparées sur l'une des pièces aux emplacements des points de soudure) est une méthode utilisée en chaîne sur des pièces de petites dimensions ;

■ le soudage par forgeage nécessite de serrer les pièces à souder entre des électrodes en étai. La préparation des surfaces à souder est très importante car elles doivent être absolument parallèles, lisses et désoxydées. Le matériau et la forme des pièces doivent être identiques afin que le chauffage soit symétrique ;

■ le soudage par étincelage permet de souder des pièces de sections différentes et parfois même de matériaux différents.

## APPLICATIONS

Le soudage par résistance s'applique essentiellement aux assemblages à recouvrement sur tôles. Il offre la possibilité, sur tôles minces, de pouvoir superposer et souder simultanément trois ou quatre épaisseurs. Le parc français moyen de soudeuses par résistance industrielles est estimé à environ 100 000 unités.

### Description des équipements

Les machines de soudage par résistance peuvent être classées en trois catégories :

- machine à souder sur châssis (figure 2) ;
- pinces à transformateur intégré (figure 3) ;
- pinces à transformateur déporté (figure 4) ;

Trois paramètres doivent être pris en compte dans la réalisation d'une opération de soudage par résistance :

- l'intensité du courant ;
- le temps du cycle de soudage ;
- l'effort sur les électrodes.

### Caractéristiques électromagnétiques des équipements

La fréquence du courant de soudage est de 50 Hz pour les soudeuses traditionnelles.

Il existe des soudeuses dont les électrodes sont parcourues par un courant continu, mais ce type d'équipement n'a pas fait l'objet de mesures dans le cadre de cette étude.

L'intensité du courant de soudage de plusieurs milliers d'ampères génère un champ magnétique important. Il contient des harmoniques en particulier en raison du hachage du signal utilisé pour régler l'intensité du courant de soudage sur certaines soudeuses. Le niveau de champ dépend de la taille de la boucle de courant (figures 2 à 4, tracé pointillé rouge) et de l'intensité qui la parcourt. Il décroît très fortement lorsqu'on s'éloigne du centre de la boucle. On trouve maintenant des soudeuses fonctionnant à des fréquences allant jusqu'à 40 kHz, ce qui contribue à la réduction de l'encombrement et du poids du générateur, de la consommation électrique et apporte une meilleure maîtrise des paramètres de soudage.

Sur ce type d'installation, le courant HF est obtenu par redressement, hachage et filtrage du courant « 50 Hz ». Il existe une

composante de courant continu mais le champ magnétique statique généré est négligeable.

Seul le risque dû au champ magnétique est pris en compte dans cette fiche, le champ électrique est très faible et ne présente pas un risque significatif compte tenu des tensions mises en œuvre.

## VALEURS LIMITES

Le code du travail définit des valeurs mesurables de l'intensité du champ électromagnétique appelées « valeurs déclenchant l'action (VA) » et « valeurs limites d'exposition (VLE) ». En cas de dépassement, il convient de mettre en œuvre un plan d'action destiné à réduire l'exposition en-dessous de ces valeurs.

Pour les équipements dont la fréquence de fonctionnement est comprise entre 50 Hz et 100 kHz, le code du travail fixe des VA hautes et des VA basses. Les VA présentées dans cette fiche sont les VA concernant l'induction magnétique, compte tenu des fortes intensités de soudage mises en œuvre. Les VA à retenir sont les VA basses jusqu'à 300 Hz. Au-delà de cette fréquence, les VA hautes et basses sont confondues. Elles sont données dans le tableau 1.

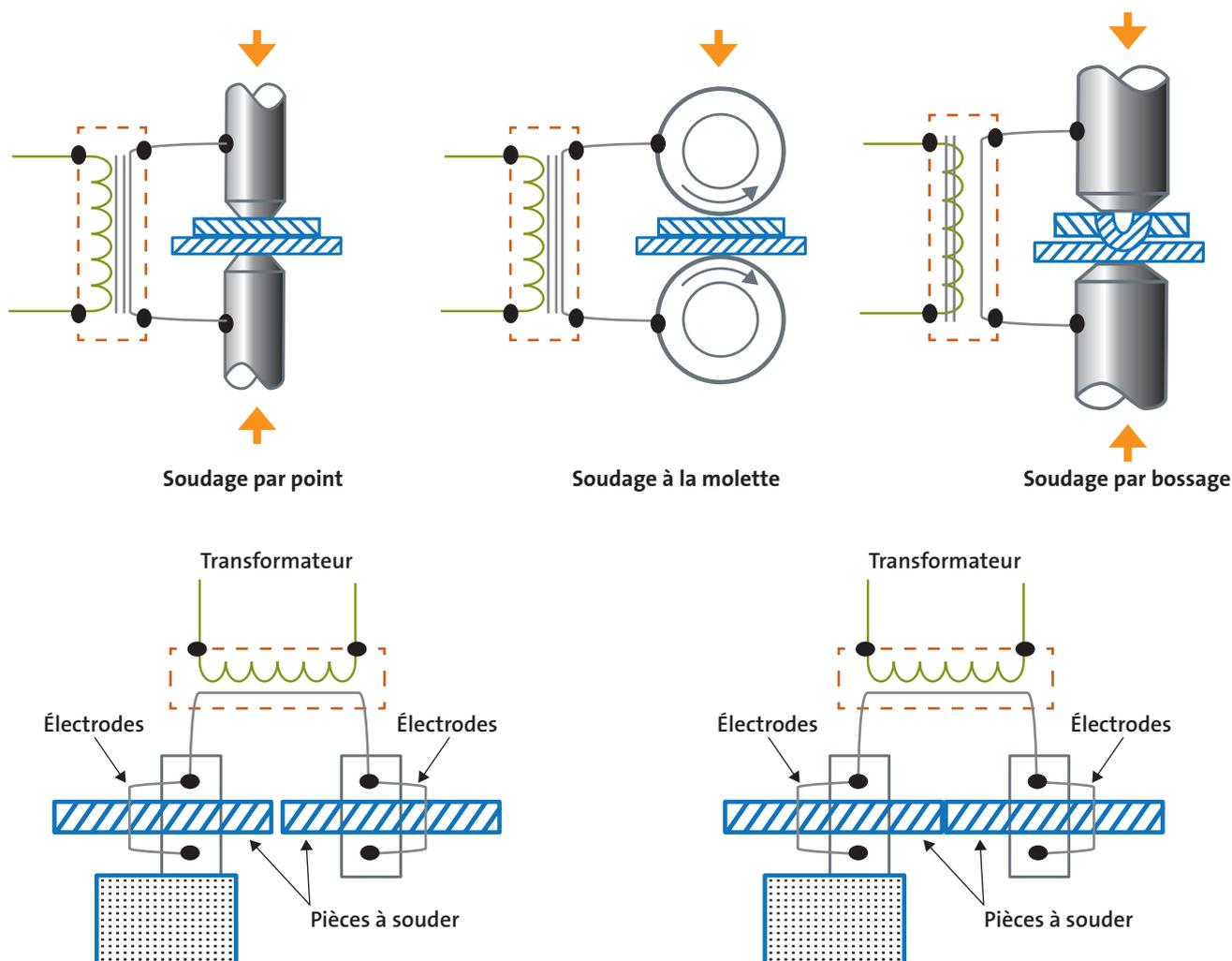


Figure 1. Représentation schématique des principaux procédés de soudage par résistance

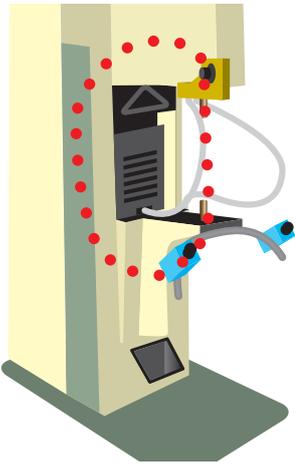


Figure 2. Machine à souder sur châssis



Figure 3. Pince à souder à transformateur intégré

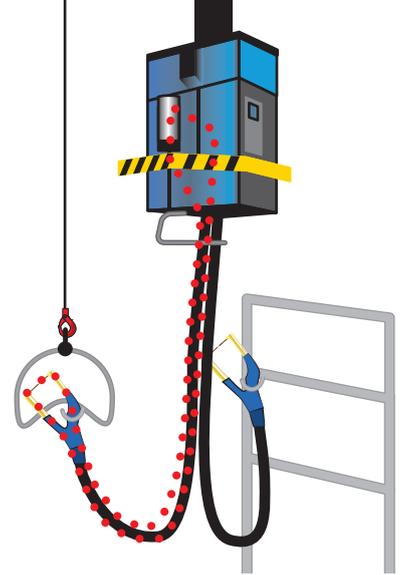


Figure 4. Pince à souder à transformateur déporté

## RISQUES

### Exposition aux champs électromagnétiques

Les effets consécutifs à une exposition aux champs magnétiques de basses fréquences sont décrits dans la fiche pratique ED 4203. Il s'agit essentiellement d'effets tels que phosphènes rétinien ou modifications passagères mineures de l'activité cérébrale si l'exposition de la tête dépasse la VLE basse, et de stimulations du système nerveux pour une exposition du corps au-delà de la VLE haute.

### Risques spécifiques pour les porteurs de dispositifs médicaux

Les dispositifs médicaux actifs implantés ou portés près du corps sont susceptibles de voir leur fonctionnement perturbé par les champs électromagnétiques. Les dispositifs médicaux passifs (prothèses, stents, clips...), dont certains sont conducteurs, peuvent être chauffés lorsqu'ils sont soumis à un environnement électromagnétique. La conduite à tenir est précisée dans la fiche ED 4206.

### Autres risques

Des courants importants pour le fonctionnement des soudeuses sont généralement mis en œuvre à proximité des postes de transformation. Les valeurs d'induction magnétique les plus élevées sont en général mesurées à proximité des câbles de sortie basse tension et du tableau de distribution. Elles sont variables et dépendent du courant fourni (nombre de machines en fonctionnement) au moment de la mesure. L'accès aux postes de transformation est interdit ou réglementé car le risque d'électrisation est réel.

## ÉVALUATION DU RISQUE

Du fait du caractère impulsionnel du champ émis (durée de soudage courte et/ou courant haché), le signal électromagnétique est composé d'harmoniques multiples de la

Gamme de fréquences	VA <sub>tête et tronc</sub> (induction magnétique) ( $\mu\text{T}$ )	VA <sub>membres</sub> (induction magnétique) pour une exposition des membres à un champ magnétique localisé [ $\mu\text{T}$ ] (Rms)
$50 \text{ Hz} \leq f < 300 \text{ Hz}$	1 000	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

*f est la fréquence en Hz.*

Tableau 1. VA pour une exposition à des champs magnétiques compris entre 50 Hz et 100 kHz

fréquence du courant de soudage. Cet aspect multifréquentiel est à prendre en compte pour le calcul de l'exposition.

La norme européenne EN 50505 précise une méthode de calcul de l'exposition à partir de l'analyse en fréquence du champ électromagnétique. En effet, la mesure du champ magnétique avec un champmètre traditionnel n'est pas toujours adaptée. Cette méthode permet de calculer un indice d'exposition égal au rapport des valeurs mesurées du champ aux différentes fréquences et des valeurs déclenchant l'action (VA) correspondantes en tenant compte de la phase de chaque composante fréquentielle. Cette méthode suit précisément le gabarit des VA de la réglementation.

L'évaluation de l'indice d'exposition peut également être effectuée par la méthode « crête pondérée » citée dans l'arrêté du 5 décembre 2016. Cette méthode repose sur l'analyse du signal dans le domaine temporel. Elle présente l'avantage de pouvoir être facilement intégrée dans les appareils de mesure du type champmètre mais sous-estime d'environ 10% l'indice d'exposition pour une soudeuse par résistance fonctionnant à 50 Hz. Il existe actuellement des appareils capables de mesurer de tels signaux impulsionnels. Il conviendra de porter une attention particulière lors du choix de l'équipement de mesure à utiliser pour caractériser l'exposition de l'opérateur d'une soudeuse par résistance. Conformément aux dispositions du code du travail, le maintien de l'indice d'exposition à

une valeur inférieure à 1 garantit le respect des VLE.

Une étude réalisée par les Carsat, la Cramif et l'INRS entre 2007 et 2013, sur 90 postes de travail de soudage par résistance a montré que la valeur de l'indice d'exposition au poste de travail dépasse la valeur 1 dans de nombreux cas.

## MOYENS DE PRÉVENTION

Si l'indice d'exposition est supérieur à 1, une recherche de solutions techniques et organisationnelles efficaces devra être menée. Dans tous les cas, on cherchera, compte tenu de l'état des techniques, à réduire l'exposition au niveau le plus bas possible.

### Choix de l'équipement

Certains équipements permettent de diminuer la valeur de l'induction magnétique aux postes de soudage par résistance. Il est ainsi préférable :

- d'utiliser des équipements sur châssis fixe ou à transformateurs intégrés récents équipés des générateurs plus légers, travaillant à fréquence élevée, qui permettent de réduire de façon importante l'exposition des opérateurs ;
- de choisir des pinces à souder équipées de câbles bipolaires à torons torsadés plutôt que des câbles unipolaires ;
- de choisir des pinces équipées de poignées ou de zones de préhension déportées ;



Figure 5. Position du poste de travail à éviter



Figure 6. Position du poste de travail à privilégier

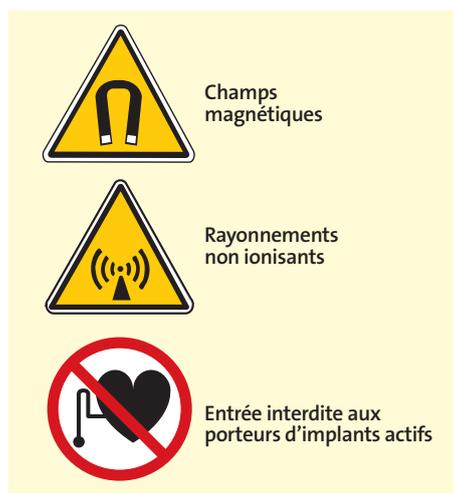


Figure 7. Signalisation à mettre en place à proximité des installations émettant des champs électromagnétiques importants

## Conditions d'utilisation

Certaines conditions d'utilisation optimisent également l'exposition. Il est recommandé :

- d'éviter la présence totale ou partielle de l'opérateur dans l'axe de la boucle de soudage (à titre d'exemple, figures 5 et 6) ;
- de maintenir toutes les parties du corps de l'opérateur le plus éloigné possible des électrodes et porte-électrodes et des câbles d'alimentation des électrodes pour les soudeuses à transformateur déporté.

## Information

Les opérateurs doivent être informés sur les risques et les bonnes pratiques.

## Signalisation

Les zones où des personnes sont susceptibles d'être exposées à des champs magnétiques élevés doivent être matérialisées par un marquage au sol et signalées par un affichage de pictogrammes (figure 7).

## POUR EN SAVOIR PLUS

- Directive européenne 2013/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques physiques (champs électromagnétiques).
- Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques. Guide d'évaluation des risques, INRS, ED 6136.
- 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), INRS, ND 2143.
- Dossier INRS « Champs électromagnétiques » : [www.inrs.fr/risques/champs-electromagnetiques/reduire-risques.html](http://www.inrs.fr/risques/champs-electromagnetiques/reduire-risques.html)
- Articles R. 4453-1 et suivants du code du travail.
- Guides non contraignants de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE « Champs électromagnétiques » :  
Volume 1 • Guide pratique  
Volume 2 • Étude de cas  
Volume 3 • Guide à l'intention des PME  
[www.ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=fr](http://www.ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=14741&langId=fr)
- Fiches « Champs électromagnétiques » de l'INRS, ED 4200 à 4219.
- Comment mesurer le champ magnétique aux postes de travail des machines à souder par résistance ?, INRS, NT 8, décembre 2013.
- Norme NF ISO 4063 : « Soudage et techniques connexes – Nomenclature et numérotation des procédés », février 2011
- Norme NF EN 50505 : « Norme de base destinée à l'évaluation de l'exposition humaine aux champs électromagnétiques émanant du matériel de soudage par résistance et des techniques connexes », avril 2008.
- Arrêté du 5 décembre 2016 relatif aux grandeurs physiques que représentent les VLE et les VA décrivant l'exposition à des CEM.

Références : Groupe RNI Carsat-Cramif/INRS ■  
Ch. Bisserieux, Carsat Auvergne ■ P. Laurent, Carsat Centre-Ouest ■  
A. Deleau, Carsat Languedoc-Roussillon ■ J. Fortuné, Carsat Centre ■  
E. Marteau, Cram Île-de-France ■ G. Le Berre, Carsat Bretagne ■  
S. Tirlémont, Carsat Nord-Picardie ■ M. Bouldi, M. Donati, INRS Lorraine ■  
P. Moureaux, INRS Paris

Contacts : P. Donati, INRS : 03 83 50 20 49  
P. Moureaux, INRS : 01 40 44 31 09  
Services Prévention des Carsat, Cramif et CGSS