



*Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées permet d'assembler ou de recharger des éléments ou des pièces métalliques au moyen de cordons de soudure. L'énergie nécessaire à la fusion du métal est fournie par un arc électrique jaillissant entre les pièces à souder et une électrode fusible fournissant le métal d'apport.*

*Soudeur équipé au travail*

## Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées

L'électrode est constituée d'une baguette métallique (l'âme) entourée d'un revêtement adhérent (l'enrobage). Elle est maintenue par son extrémité nue dans un porte-électrode que l'opérateur manipule au cours des travaux (voir photo ci-dessus).

Les applications de ce procédé sont particulièrement nombreuses. La mobilité des

appareils et la grande diversité des types d'électrodes permettent d'effectuer des travaux sur un certain nombre de métaux et de leurs alliages comme les aciers non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables, les fontes, et, dans certaines conditions, l'aluminium, le cuivre et le nickel.

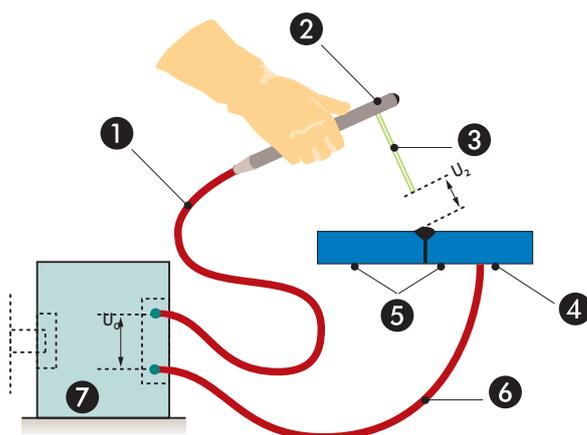
Tous les types d'assemblage (bord à bord,

d'angle...) et toutes les positions de soudage (à plat, en corniche...) sont possibles.

### QUEL EST LE PRINCIPE DU PROCÉDÉ ?

Le générateur de courant de soudage alimente le circuit de soudage (voir figure 1) en courant alternatif, redressé ou continu et permet de disposer entre l'électrode fusible et les pièces à assembler d'une différence de potentiel de classe BTA (basse tension A) ou TBT (très basse tension) au sens du décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 relatif à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.

L'opérateur amorce l'arc électrique en grattant la surface d'une des pièces à souder avec l'extrémité de l'électrode qu'il éloigne ensuite pour obtenir la longueur d'arc désirée. L'amorçage établi, l'électrode fond ainsi que, localement, le métal constitutif des éléments à assembler. L'âme métallique fond en



- 1 Conducteur (isolé) de soudage
- 2 Porte-électrode isolé
- 3 Électrode enrobée consommable
- 4 Connecteur de pièce
- 5 Pièces à assembler
- 6 Conducteur (isolé) de retour
- 7 Générateur de courant de soudage

Figure 1. Circuit de soudage

LES RISQUES		LES MESURES DE SÉCURITÉ, LES MOYENS DE PRÉVENTION, LES PROTECTIONS INDIVIDUELLES ET COLLECTIVES
Les types	Les types	
Électrisation Électrocution  Brûlures	<p><b>Contacts directs :</b> attention, la pièce à souder est une partie active du circuit de soudage (tension à vide de l'ordre de 60 à 90 V).</p> <p><b>Contacts indirects :</b> défaut d'isolement de l'appareillage et protections insuffisantes.</p> <p>L'absence de protection contre les courts-circuits. La mauvaise continuité électrique : échauffement. Les projections de particules incandescentes et la chaleur provenant d'éléments portés à une température élevée.</p>	<p>Conformité du circuit d'alimentation électrique avec les textes réglementaires et les normes en vigueur. Partie active du porte-électrode inaccessible à une bille d'acier d'un diamètre de 12 mm. Porte-électrode à isolation complète avec degré de protection IP 2X ou IP XXB. Le circuit de soudage doit être séparé des autres circuits par une isolation double ou renforcée. Si l'isolement complet par rapport à la terre ne peut être assuré, la connexion à cette dernière doit se situer au plus près du point de soudage. S'assurer de la liaison équipotentielle des éléments conducteurs environnants. Utilisation de matériel en bon état et adapté au travail à réaliser. Maintien des appareils et accessoires en parfait état de fonctionnement : vérification périodique des connexions, de l'isolement des câbles, de l'état du porte-électrode et du connecteur de pièces. Un soin particulier sera apporté à l'isolement du circuit de retour. Nettoyage fréquent du matériel. Pour les travaux dans les <b>enceintes très conductrices exigües</b>, le générateur de courant doit être placé à l'extérieur.</p> <p><b>Protection individuelle :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mains et poignets : gants à 3 ou 5 doigts et manchettes en cuir traité « antichaleur » avec coutures protégées ;</li> <li>- pieds et membres inférieurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• brodequins en cuir à semelles isolantes, antidérapantes et coquilles d'acier,</li> <li>• bottes en cuir ou chloroprène (néoprène),</li> <li>• guêtres en cuir ou toile ignifugée ;</li> </ul> </li> <li>- corps : <ul style="list-style-type: none"> <li>• vêtement de travail : ensemble veste-pantalon en tissu difficilement inflammable tel le coton ignifugé, ajustable au niveau du cou et dépourvu de plis ou revers avec poches à rabats,</li> <li>• tablier en cuir (basane) ou tissu ignifugé enduit,</li> <li>• survêtement de complément dans le cas de projections abondantes, de chaleur rayonnante intense ou de travaux dans un espace réduit, humide et conducteur : boléro, gilet, veste.</li> </ul> </li> </ul>
Incendie Explosion	<p>L'action de l'arc et/ou d'échauffements liés à l'usage de l'électricité.</p> <p>La présence de substances combustibles, inflammables et explosives sur les pièces à souder ou à proximité du poste de travail.</p>	<p><b>Préparation du travail :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- élimination sur une surface suffisante des résidus, enduits ou peintures adhérant aux parois des éléments ;</li> <li>- dissolution des graisses ou lubrifiants et éloignement des bacs de dégraissage et autres liquides combustibles ;</li> <li>- dégazage et nettoyage des volumes creux ayant contenu des substances inflammables, ventilation et vérification de l'atmosphère par explosimétrie ;</li> <li>- prévoir un revêtement de sol ininflammable ou difficilement inflammable.</li> </ul>
Affections ou intoxications : - appareil respiratoire - appareil digestif - œil - peau	<p>Inhalation, ingestion, contacts avec l'œil ou la peau de gaz, vapeurs, fumées, poussières insalubres, incommodes, irritants, toxiques ou cancérogènes émis au voisinage de l'arc :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- produits de décomposition thermique ou photochimique des enduits, peintures, graisses ou lubrifiants recouvrant les pièces « sales »,</li> <li>- produits de dégradation thermique ou photochimique de solvants de dégraissage,</li> <li>- pollution par le phosgène pour les solvants chlorés,</li> <li>- vapeurs nitreuses formées à partir de l'oxygène et de l'azote de l'air,</li> <li>- produits de fusion et de volatilisation de l'électrode et des métaux de base.</li> </ul>	<p><b>Assainissement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pour le travail en atelier, les solutions préconisées sont les suivantes : aspiration au plus près de la source d'émission, torches aspirantes, gabarits aspirants, cabines de soudage, tables aspirantes, aspiration localisée déplaçables ;</li> <li>- dans les espaces confinés, l'aspiration est réalisée à l'aide d'une buse de captage mobile associée à une ventilation forcée ;</li> <li>- l'introduction d'air neuf et le contrôle fréquent de l'atmosphère sont impératifs dans les enceintes où l'aération est insuffisante ou ayant contenu des substances toxiques et/ou inflammables ou explosibles ;</li> <li>- dans l'impossibilité technique d'implanter un système de ventilation localisée, la protection respiratoire est assurée par un appareil de protection respiratoire à ventilation assistée ou à adduction d'air. Le choix de l'appareil adapté relève de la compétence d'un expert.</li> </ul>
Anoxie Asphyxie	Appauvrissement en oxygène de l'air respirable dans une enceinte de dimensions réduites.	Aération suffisante, voire forcée dans les endroits confinés de soudage. À défaut, port d'un appareil de protection respiratoire.
Kérato - conjonctivites Érythèmes Lésions rétinienes Cataractes Brûlures rétinienes Brûlures du visage ou de l'œil	<p>Rayonnement de l'arc (lumière visible, ultraviolet, infrarouge) UV</p> <p>UV</p> <p>Effet photochimique de la lumière bleue</p> <p>Proche UV, Visible, IR</p> <p>Visible, Proche IR</p> <p>Proche IR, IR</p>	<p>Protection individuelle de l'œil et mise en place d'écrans (rideaux souples, vitres d'opacité appropriée, panneaux rigides).</p> <p>Application de peinture absorbant les rayons ultraviolets sur les parois entourant le poste de soudage et utilisation d'écrans intermédiaires pour se protéger des éléments réfléchissants.</p> <p>Protection de la tête et de l'œil : port d'un masque à serre-tête équipé d'un filtre optique d'opacité appropriée.</p>
Interférences radioélectriques	Perturbations dues aux appareils de soudage sur des implants actifs et des commandes de machines et appareils de levage voisins.	S'assurer de la compatibilité électromagnétique des implants actifs et des circuits de commande des machines environnantes (levage et manutention, notamment).

## OBSERVATIONS

Décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988  
 Arrêté ministériel du 14 décembre 1988  
 Norme NF C 15-100  
 Norme NF A 85-600  
 Fascicule de documentation. AFNOR A 85 002

Norme NF EN 169  
 Norme NF EN 175  
 Norme NF EN 379  
 Norme NF EN 407  
 Norme NF EN ISO 11611 (S74-518)  
 Norme NF EN 12477

Permis de feu

Guide pratique de ventilation 7. INRS, ED 668  
 Documents pour le médecin du travail. INRS, 2009 : TR 45, et 1991 : TR 21  
 Fiche pratique de sécurité. INRS, ED 98

Guide pratique de ventilation 8. INRS, ED 703

Norme NF EN 169  
 Norme NF EN 379  
 Norme NF EN 175

Décret n° 2006-1278 du 18 octobre 2006 relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques

gouttelettes qui sont projetées dans le bain de fusion. Elles constituent, après refroidissement, le cordon de soudure.

En fondant, l'enrobage de l'électrode remplit trois rôles :

- **électrique** : il favorise l'amorçage et la stabilisation de l'arc par ionisation de l'air ;
- **mécanique et physique** : il concentre l'arc par la formation d'un cratère à son extrémité, il permet le soudage dans différentes positions et influence la forme et l'aspect du cordon, l'enlèvement des dépôts de laitier ;
- **métallurgique** : il protège le bain de fusion de l'action de l'air par formation d'une pellicule de laitier liquide et d'une veine gazeuse, il ralentit le refroidissement et ajoute, dans certains cas, des éléments nécessaires à l'obtention des caractéristiques mécaniques du joint de soudure.



Photo 1. Groupe portatif

La fusion est assortie de fumées de soudage, de projections de particules incandescentes, de laitier en fusion et d'une émission de rayonnements optiques de l'arc. Leur importance dépend, notamment, des conditions de travail (voir figure 2). Dans le cas de travaux sur des pièces revêtues d'enduits tels



Photo 2. Groupe mobile

que des peintures, des graisses, des lubrifiants, des solvants..., des produits toxiques de décomposition thermique ou photochimique de ces enduits s'ajoutent aux fumées de soudage proprement dites.

Par ailleurs, l'adhérence du laitier solidifié au cordon de soudure dépend essentiellement du type d'enrobage de l'électrode (acide, basique, cellulosique, oxydant ou rutile).

## LES ÉQUIPEMENTS POUR TRAVAUX DE SOUDAGE MANUEL À L'ARC

L'ensemble de l'équipement permettant d'effectuer des travaux de soudage manuel à l'arc avec des électrodes enrobées comprend les éléments suivants :

- le générateur de courant de soudage proprement dit. Il peut être **statique** et relié au réseau triphasé ou monophasé 400/230 V. Dans ce cas, il est constitué de transformateurs, de redresseurs et de générateurs électroniques à thyristors ou à transistors, selon la forme désirée du courant de soudage : alternative, de fréquence 50 Hz, ou redressée. Dans le cas d'un générateur rotatif, on utilise un moteur électrique ou thermique, essence ou diesel, relié à un alternateur-redresseur ou à une

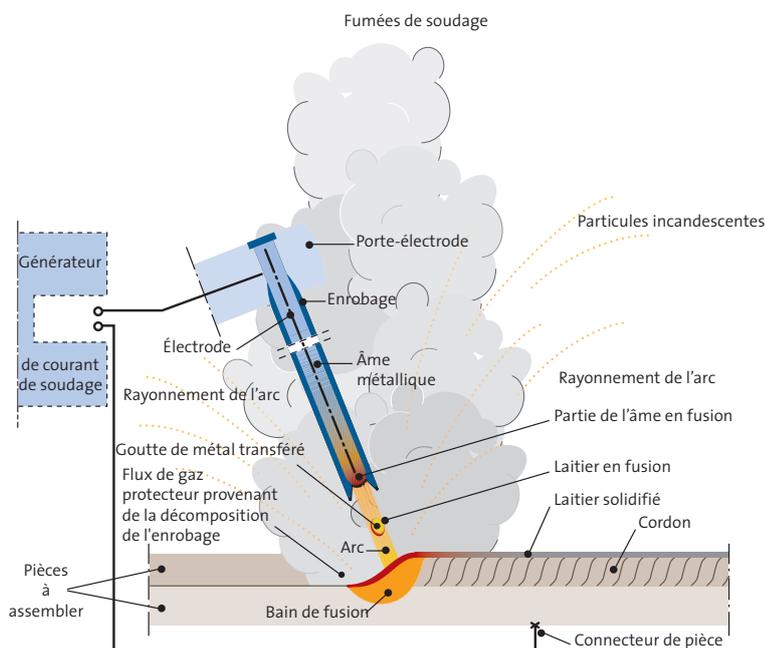


Figure 2. Fusion de l'électrode et bain de fusion localisé



## Soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées

### Lois – Décrets – Arrêtés

#### • Le code du travail :

- Art. L. 4141-2 (formation à la sécurité).
- Art. L. 4221-1, L. 4311-1 à L. 4311-4 (sécurité des locaux et des équipements de travail).
- Art. R. 4222-1 à R. 4222-26 (aération, assainissement).
- Art. R. 4431-1 à R. 4437-4 (prévention des risques dus au bruit).
- Art. R. 4227-1 à R. 4227-57 (prévention des incendies et des explosions).
- Art. R. 4321-1 à R. 4324-45 (utilisation des équipements de travail et des moyens de protection).
- Art. R. 4532-1 à 4535-10 (protection des travailleurs exécutant des travaux du bâtiment et des travaux publics).

**Le décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 :** protection des travailleurs contre les courants électriques : art. 28 et l'arrêté ministériel du 14 décembre 1988.

**Le décret n° 2006-1278 du 18 octobre 2006 :** compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques.

#### • Le code de la Sécurité sociale :

L'activité de soudage peut entraîner un certain

nombre d'atteintes à la santé. Dans certains cas, celles-ci peuvent être reconnues en maladies professionnelles. Consulter le site [www.inrs.fr/mp](http://www.inrs.fr/mp).

### Les Recommandations de la Caisse nationale d'assurance maladie

R 443 : soudage à l'arc.

### Les normes

Le soudage électrique à l'arc fait l'objet d'environ 250 normes :

- **les produits d'apport et les flux :** (A 81-...),
- **les matériels de soudage électrique à l'arc :** (A 85-...),
- **les conditions de travail :** (A 88-...), en particulier la norme NF EN 175 de septembre 1997 « Protection individuelle de l'œil. Équipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes »,
- **la conception, la qualification et le contrôle des joints :** (A 89-...),
- **la protection individuelle :** (S 75-..., S 77-...), en particulier la norme NF EN 169 de mai 2003 « Protection individuelle de l'œil. Filtres pour le soudage et les techniques connexes. Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recomman-

dée », la norme NF EN 175 de septembre 1997 et amendements « Protection individuelle de l'œil. Équipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes », la norme NF EN 379 de janvier 2004 et amendements « Protection individuelle de l'œil. Filtres de soudage automatique », la norme NF EN 11611 d'avril 2008 « Vêtements de protection utilisés pendant le soudage et les techniques connexes », la norme NF EN 407 de décembre 2004 « Gants de protection contre les risques thermiques » et la norme NF EN 12477 « Gants de protection pour soudeurs » de janvier 2002.

L'ensemble de ces normes sont disponibles à l'AFNOR<sup>1</sup>, l'UTE<sup>2</sup> et le CNS<sup>3</sup>.

1. AFNOR : Association française de normalisation, 11, rue Francis-de-Pressensé, 93210 SAINT-DENIS  
 2. UTE : Union technique de l'électricité, Tour Chantecoq, 5, rue Chantecoq, 92808 PUTEAUX Cedex, tél. 01 49 07 62 00  
 3. CNS : Comité de normalisation de la soudure, ZI Paris-Nord II, 90, rue des Vanesses, BP 50362, 95942 ROISSY-CDG Cedex, tél. 01 49 90 36 00

## La classification des appareils de soudage

Genre	Type	Technologie	Courant de soudage	Intensité de soudage (à titre indicatif)	Mobilité*
STATIQUE	transformateur monophasé	sans redresseur avec redresseur	alternatif redressé	50 à 150 A	portatif ou semi-fixe
	transformateur triphasé	avec redresseur	redressé	50 à 500 A	semi-fixe
ROTATIF	moteur électrique (monophasé ou triphasé)	onduleur hacheur thyristor	continu	50 à 500 A	portatif mobile semi-fixe
	moteur thermique, essence ou diesel	génératrice à courant continu ou alternateur	continu alternatif ou redressé	50 à 500 A	mobile ou semi-fixe

\* Portatif : souvent équipé de poignées (voir photo 1, p. 3) – Mobile : modèle carrossé monté généralement sur châssis à roues (voir photo 2, p. 3) – Semi-fixe : avec organes de levage et/ou de manutention

génératrice à courant continu pour générer un courant alternatif de fréquence égale ou supérieure à 50 Hz, redressé ou continu ;

- les conducteurs isolés de soudage et de retour équipés respectivement du porte-électrode et d'un dispositif de raccordement aux pièces à souder (pince, serre-joint...);
- les électrodes enrobées ;
- les accessoires pour le piquage de laitier (marteau-burin), de nettoyage et de polissage des cordons (brosse, lime, meule...).

Cette opération nécessite le port de lunettes de sécurité ;

- les dispositifs de protection collective (rideaux, aspiration des fumées...) et individuelle (masque de soudage ou cagoule, gants, tablier, chaussures de sécurité...) nécessaires à la réalisation des travaux.

Le tableau ci-dessus donne un aperçu des principales caractéristiques des appareils de soudage.

### Adresses utiles

\* SYMOP : Syndicat des entreprises de technologies de production  
 Maison de la mécanique  
 45, rue Louis-Blanc, 92400 COURBEVOIE  
 Tél. 01 47 17 67 17

\*\* IS : Institut de soudure  
 90, rue des Vanesses  
 BP 50362, 93430 VILLEPINTE  
 Tél. 01 49 90 36 00  
[www.institutdesoudure.com](http://www.institutdesoudure.com)

### POUR EN SAVOIR PLUS

- ED 790 (INRS) *Aide-mémoire BTP. Prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles dans le bâtiment et les travaux publics.*

Auteurs : J.-P. Goasguen et G. Hée, INRS, DA/RPM ; avec le concours de la commission technique du SYMOP\* et de l'IS\*\*  
 Infographie : Atelier F. Causse  
 Mise en pages : N. Pellieux et Atelier F. Causse



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
 30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00 • Fax 01 40 44 30 99 • Internet : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • e-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)