



*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.

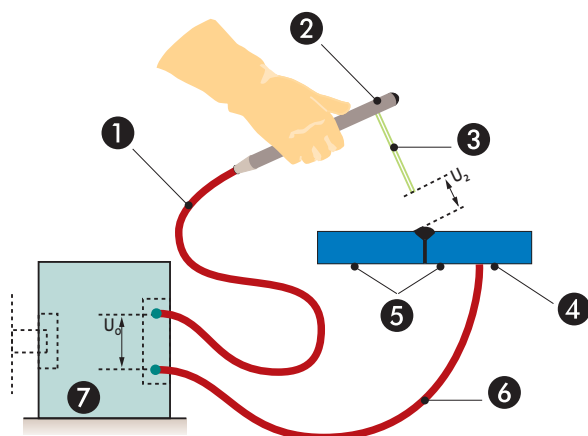
Tous les types d'assemblage (bord à bord,

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 BT (basse tension) ou TBT (très basse tension) au sens de l'article R 4226-2 du Code du Travail.

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



- 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 PRÉVENTION & LES MOYENS DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET COLLECTIVE
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 2XB. 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 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, 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 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. 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>- dégagement de la zone de travail de tout matériau combustible inutile (cartons, papiers,...);</li> <li>- protection des équipements et des éléments combustibles non déplaçables situés à proximité de la zone de travail;</li> <li>- installation d'une protection de sol ininflammable ou difficilement inflammable;</li> <li>- en cas de poste fixe, mise en place d'un asservissement de la ventilation à la mise en marche du poste de travail (ou équivalent).</li> </ul>
Intoxication	<p>Inhalation de fumées constituées de poussières, de gaz et de vapeurs irritants, toxiques ou cancérigènes émises au voisinage de l'arc. Ces fumées sont constituées:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de gaz protecteurs utilisés lors de l'opération de soudage: argon, hélium, etc.;</li> <li>- de gaz émis par l'opération de soudage: monoxyde de carbone, ozone, etc.;</li> <li>- de gaz et vapeurs issus de la dégradation thermique ou photochimique de revêtements éventuellement présents sur les pièces (enduits, peintures, solvants chlorés, graisses, lubrifiants, etc.): phosgène, formaldéhyde, etc.;</li> <li>- de poussières métalliques ou d'oxydes métalliques: chrome VI, cobalt, fer, nickel, manganèse, cuivre, aluminium, magnésium, cadmium, étain, béryllium, etc.</li> </ul> <p>95% des constituants des fumées de soudage proviennent des produits d'apport, moins de 5% du matériau de base.</p>	<p><b>Ventilation et assainissement de l'air:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- en atelier, mettre en place une ventilation locale, c'est-à-dire, une aspiration au plus près de la source d'émission des polluants: torche aspirante, gabarit aspirant, table aspirante, cabine de soudage, caisson aspirant, bras articulé ou hotte. Utiliser en complément une ventilation générale;</li> <li>- en espace confiné, mettre en œuvre une buse de captage mobile associée à une ventilation forcée;</li> <li>- sur chantier, porter un appareil de protection respiratoire libre ou à ventilation assistée.</li> </ul> <p>Si la ventilation s'avère insuffisante en atelier ou en espace confiné, un appareil de protection respiratoire doit être utilisé. En atelier, l'appareil sera à ventilation libre, à ventilation assistée ou à adduction d'air en fonction de l'évaluation des risques. En espace confiné, il sera à adduction d'air.</p> <p>L'introduction d'air neuf et le contrôle fréquent de l'atmosphère sont impératifs dans les locaux ou enceintes qui ont contenu des produits toxiques, inflammables ou explosibles ou dans lesquels la ventilation est insuffisante.</p>
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 rétiniennes Cataractes Brûlures rétiniennes Brûlures de la cornée	<p>Rayonnement de l'arc (lumière visible, ultraviolet (UV), infrarouge (IR)) UV</p> <p>UV</p> <p>Effet photochimique de la lumière bleue</p> <p>Proche UV, UV, 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).

## COMPLÉMENTS

Arrêté ministériel relatif aux circuits électriques mis en œuvre dans le soudage électrique à l'arc et par résistance et dans les techniques connexes.

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

Le permis de feu, INRS, ED 6030 ;

Consignations et déconsignations, INRS, ED 6109.

Guide pratique de ventilation 7 - Opérations de soudage à l'arc et de coupage, INRS, ED 668

Le soudage à l'arc, INRS, DV 0388

Les appareils de protection respiratoire - Choix et utilisation, INRS, ED 6106

Guide pratique de ventilation 8 - Ventilation des espaces confinés, INRS, ED 703

Norme NF EN 169

Norme NF EN 379 + A1

Norme NF EN 175

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

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 que des peintures, des graisses, des lubrifiants, des solvants..., des produits toxiques de décomposition thermique ou photochi-



Photo 2. Groupe mobile

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

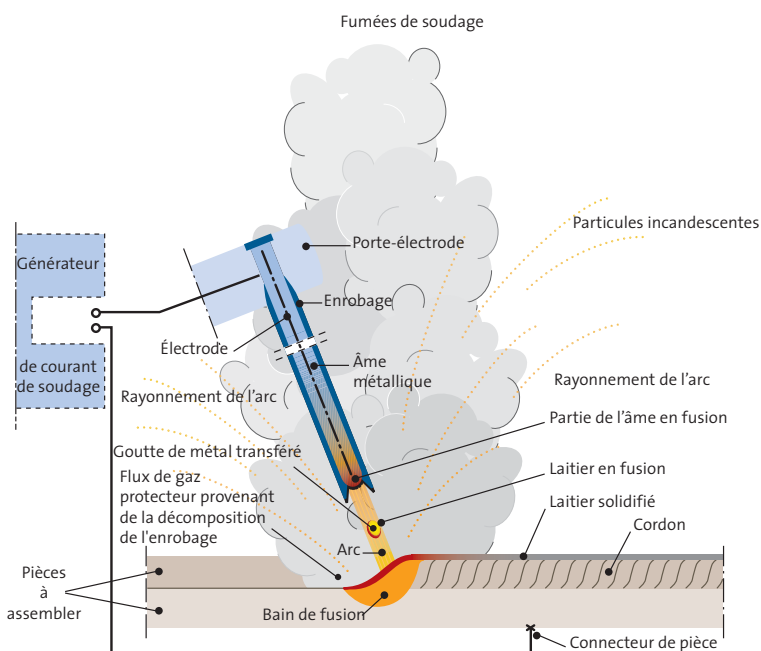


Figure 2. Fusion de l'électrode et bain de fusion localisé



## 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).  
 Art. R. 4226-11 (installation de soudage électrique).  
 Art. R. 4226-12 (utilisation et raccordement d'appareils électriques amovibles).

Le décret n° 2006-1278 du 18 octobre 2006 : compatibilité électromagnétique des équipements 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 électrique et coupage.

## 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 septembre 2009 et amendements « Protection individuelle de l'œil. Filtres de soudage automatique », la norme NF EN ISO 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>.

1. AFNOR : Association française de normalisation, 11, rue Francis-de-Pressensé, 93210 SAINT-DENIS

## 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

- 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)

Infographie : Atelier F. Causse  
 Mise en pages : N. Pellieux et Atelier F. Causse