

## Notions de base

000001

# Historique

Le procédé de soudage à l'arc a une histoire internationale. Des citoyens de beaucoup de nations ont contribué à son développement. Les dates suivantes soulignent brièvement ce développement :

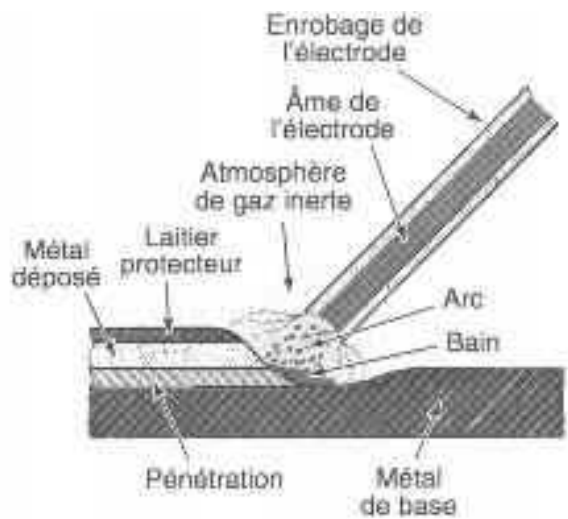
- 1801 Sir Humphrey Davy, d'Angleterre, découvre qu'un arc électrique se forme à travers un vide.
- 1881 De Meritans, en France, unit deux plaques de plomb avec un arc de carbone.
- 1887 Rarnados en Russie perfectionne l'arc de carbone et le brevete.
- 1889 Charles Coffin aux États-Unis reçoit le premier brevet pour l'arc métallique.
- 1910 En Suède, Oscar Kjellborg fait breveter la première électrode plaquée.

Entre 1917 et 1945, et surtout durant les deux guerres mondiales, des progrès considérables sont faits dans le soudage à l'arc électrique.

La production massive d'avions, de navires de guerre, de blindés et d'armes de toutes sortes, contribue à l'acceptation et à l'expansion du procédé à l'arc électrique.

## Caractéristiques et fonctions du procédé SMAW au regard de l'ensemble des procédés de soudage.

**Dans le procédé de soudage avec électrode enrobée, on forme un arc électrique entre le bout d'une électrode métallique et la surface de la pièce à souder.**



L'électrode et la pièce sont reliées à un côté différent par une source d'électricité.

L'arc montre que l'électricité courant à travers tout le circuit a sauté le petit vide entre le bout de l'électrode et la pièce de travail. Il y a une résistance considérable au passage du courant électrique.

L'énergie de cette résistance se concentre au point du vide.

Cette énergie porte l'arc à une température très haute et le rend utile pour le soudage.

Quand l'arc a franchi le bout de l'électrode au métal de base, l'électrode en fusion ajoute l'âme du fil métallique au bain de fusion sur le métal de base.

## Soudage à l'arc



**Pour ce qui est du procédé de soudage à l'électrode enrobée, ses applications demeurent nombreuses encore aujourd'hui.**

Bien que le procédé tende à disparaître de plus en plus des ateliers de fabrication en série, il demeure très utilisé lorsqu'il s'agit d'effectuer des réparations ou dans le cas de certaines applications spécialisées, dans lesquelles des propriétés particulières sont requises. De plus, le procédé SMAW a servi à développer les autres procédés de soudage à l'arc utilisant des fils-électrodes (FCAW, GMAW). Ces derniers sont moins polyvalents que le SMAW, quoique leurs possibilités d'utilisation augmentent chaque année.

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée (procédé SMAW) demeure toujours un procédé très utilisé, car il permet une grande liberté d'exécution, une grande autonomie, et l'équipement requis est le moins coûteux. Ainsi, selon la technique utilisée, il devient possible de réaliser des soudures dans n'importe

quelle position de soudage. Les dépôts obtenus lors de l'application de ce procédé possèdent des qualités non négligeables, puisqu'ils sont souvent plus purs que le métal de base et que leurs propriétés mécaniques se révèlent meilleures

Parmi les applications concrètes du procédé de soudage SMAW, on trouve la fabrication et la réparation de :

- récipients et tuyaux sous pression;
- réservoirs de stockage;
- ponts et bâtiments
- navires et wagons

Retenez que si le procédé de soudage SMAW est polyvalent et peu coûteux, il n'en exige pas moins une grande maîtrise d'exécution pour produire les résultats escomptés, ce qui ne s'obtient qu'avec le temps et l'expérience.

---

## Résumé

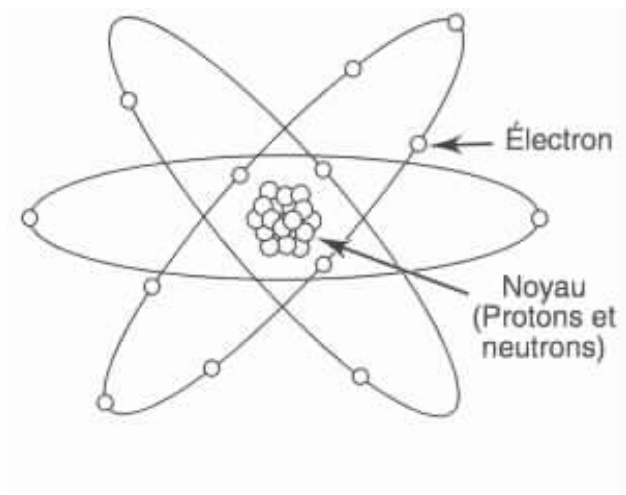
- En soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW), la fusion des métaux est obtenue par la chaleur d'un arc électrique établi entre une électrode métallique enrobée et le métal de base.
  - Le soudage à l'arc est le procédé de soudage par fusion des bords et addition de métal d'apport.
  - Le soudage à l'arc avec électrode enrobée permet une grande liberté d'exécution, une grande autonomie, et l'équipement requis est le moins coûteux comparativement aux autres procédés.
  - De nos jours, on utilise surtout le procédé SMAW pour effectuer des réparations ou dans certaines applications spécialisées.
  - Pour réaliser des soudures de qualité, le soudeur doit posséder une grande maîtrise du mode d'exécution des soudures à l'aide du procédé SMAW.
-

# Définition de la notion de courant électrique

## NOTIONS D'ÉLECTRICITÉ

De nos jours, la majorité des procédés de soudage utilisent l'électricité comme source d'énergie. Il est donc important que vous compreniez bien la nature et les effets de l'électricité afin d'exercer votre métier de façon sécuritaire et efficace.

### Définition du courant électrique



On peut définir le courant électrique comme le déplacement de particules chargées électriquement circulant dans une direction donnée. Par exemple, supposez que l'on observe une tige de cuivre à l'aide d'un microscope tellement puissant qu'il devienne possible de voir les petites particules composant l'ensemble de la tige. On pourrait alors voir quelque chose qui ressemblerait à ce qui apparaît à la figure ci-dessous.

Des expériences très précises ont démontré que les particules élémentaires d'un élément, que l'on appelle atomes, sont elles-mêmes composées de particules encore plus petites. La masse principale de l'atome est composée de particules neutres, les neutrons (N), et de particules chargées électriquement, les protons (P). Autour de ce noyau de matière gravitent des particules encore plus petites que les premières, elles aussi chargées électriquement: les électrons (E).

Afin de maintenir l'équilibre, les charges électriques des protons et des électrons doivent être égales mais de sens opposé. On a donc décrit les protons comme ayant une charge positive et les électrons comme ayant une charge négative.

Lors de l'examen au microscope d'une tige de cuivre, on pourrait s'apercevoir que les électrons d'un atome gravitent surtout autour du noyau de cet atome. Cependant, quelques-uns (appelés électrons de valence) passent parfois d'un atome à l'autre et sont remplacés par des électrons des atomes voisins. Ils sont très mobiles, mais continuent de graviter autour d'un noyau. C'est là une particularité des métaux.

Il est possible de faire dévier ces électrons dans une direction donnée. Ils passent alors d'un atome à un autre dans une direction bien définie. Quand cela se produit, on dit qu'un courant électrique circule dans la

tige. Le courant dans un fil conducteur est le résultat de la circulation d'électrons dans ce fil dans une direction donnée.

## Saviez-vous que...

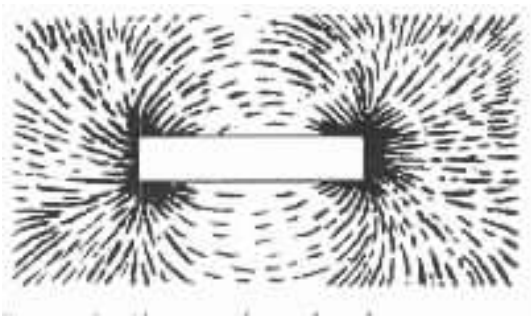
Lorsqu'on mesure la quantité de courant qui circule dans la tige, l'unité utilisée est l'ampère (A). Un ampère équivaut au passage de  $6,25 \times 10^{18}$  électrons (6,25 milliards de milliards d'électrons) en un point donné de la tige, dans un intervalle d'une seconde.

## Courant alternatif et courant continu

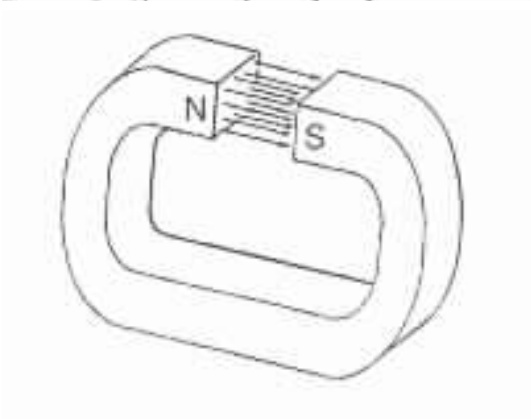
Afin de comprendre ce qu'on entend par courant alternatif et par courant continu, on doit d'abord voir comment sont produits les courants électriques utilisés en soudage. C'est grâce à l'électromagnétisme que l'on produit présentement la majeure partie du courant électrique. Les autres méthodes les plus courantes sont les piles électriques et les cellules photovoltaïques (piles solaires). Ces dernières ne sont toutefois pas utilisées en soudage.

## Champ magnétique

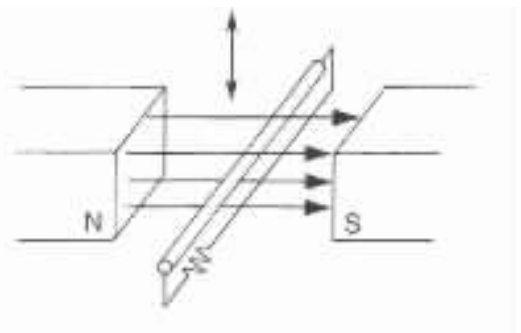
Il existe des champs magnétiques naturels sur la Terre. En fait, la terre elle-même est entourée d'un champ magnétique. Celui-ci est composé de lignes de force électromagnétiques partant du pôle Nord et se dirigeant vers le pôle Sud. C'est pourquoi on peut s'orienter avec une boussole, car son aiguille aimantée est attirée par le champ magnétique. On la colore du côté indiquant le pôle Nord.



Lorsqu'on observe un aimant, le même phénomène se produit à petite échelle. Il existe ainsi un champ magnétique autour d'une barre aimantée. Comme pour la Terre, on appelle pôle nord et pôle sud les points de sortie et d'entrée des lignes magnétiques.



On remarque aussi que si l'on donne la forme d'un cadre à cette barre, les pôles demeurent au même endroit. Le champ magnétique est alors beaucoup plus fort, car il parcourt moins de distance dans l'air. De plus, les lignes de force sont maintenant approximativement droites entre les deux pôles.



### *Production de courant par électromagnétisme.*

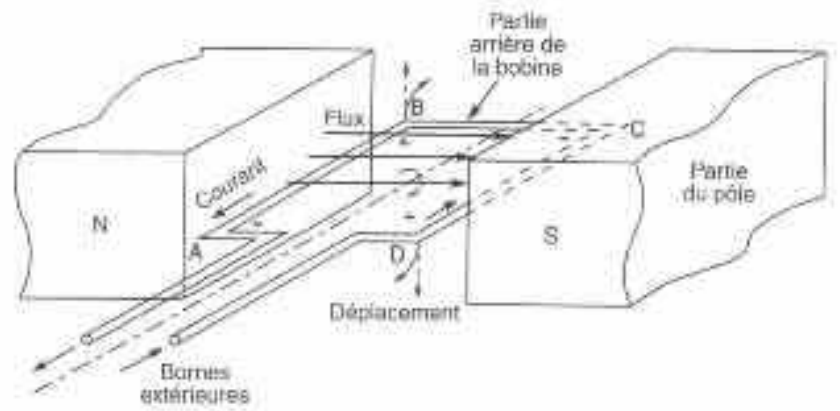
Prenons maintenant un fil de métal très conducteur, comme le cuivre, et déplaçons-le entre les deux pôles d'un aimant.

On remarque qu'une petite ampoule, branchée sur ce fil, s'allume lorsque le fil descend ou monte dans le champ magnétique. Cela indique que du courant circule dans le fil. Il y a donc eu production de courant. Le champ magnétique, allié au mouvement du fil, fait dévier les électrons dans ce fil, ce qui produit le courant. Lorsqu'un fil conducteur coupe un champ magnétique, un courant est produit dans ce fil.

De plus, on remarque que si le fil descend dans le champ magnétique, les électrons, donc le courant, se déplacent dans une direction bien précise. Cependant, si le fil monte, les électrons se déplacent dans l'autre direction.

### Courant alternatif

En pratique, il faut trouver un moyen d'entraîner facilement le déplacement du fil à travers le champ magnétique. Pour ce faire, on utilise un cadre de fil conducteur que l'on fait tourner dans le champ magnétique. Ce principe est à la base des génératrices. Plus on utilise de cadres de fil, plus on produit de courant pour un champ magnétique donné.

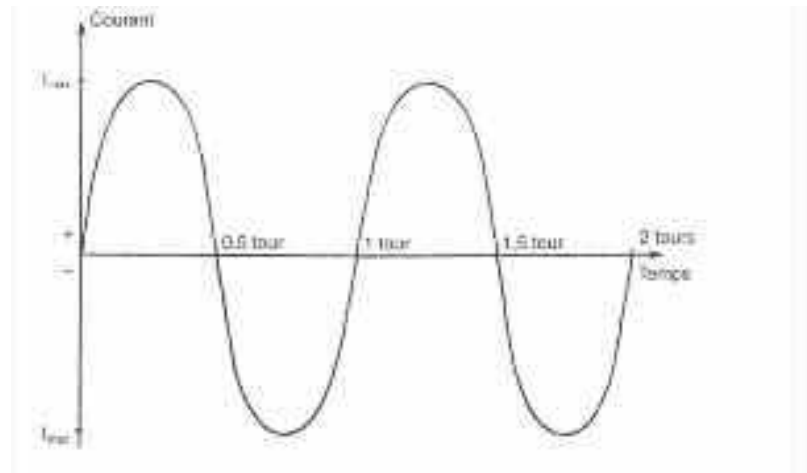


Lorsque le fil monte ou descend dans le champ magnétique, un courant est produit. À cause du mouvement de rotation, lorsque le fil arrive en haut ou en bas de sa course, il se déplace dans le même plan que le champ magnétique et aucun courant n'est produit, puisque le fil ne coupe pas les lignes de force.

De plus, comme le fil tourne autour d'un axe, son déplacement n'est pas toujours perpendiculaire au champ magnétique. Ainsi, le courant produit varie constamment, passant de zéro lorsque le fil est en haut ou en bas, à une valeur maximale lorsque le fil est au milieu de sa course.

## Courbe de fréquence du courant alternatif

Le graphique indique que le courant change de direction à chaque demi-tour. On appelle ce courant un courant alternatif.

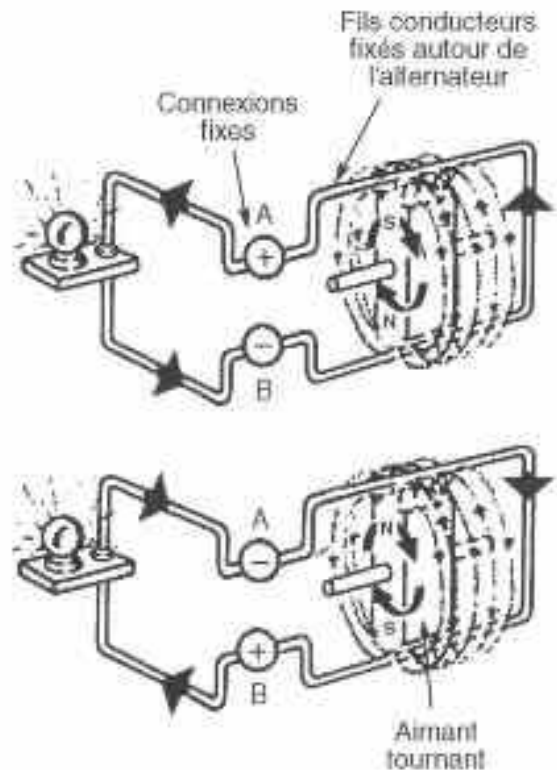


On remarque que la courbe produite pendant la deuxième rotation est la même que pour la première. La courbe se répète donc à chaque tour. On appelle cela le cycle du courant. Le nombre de cycles produits dans un intervalle de temps donné est défini comme la fréquence du courant.

Au Québec, la fréquence du courant électrique est de 60 cycles par seconde. Comme le courant change de direction à chaque demi-cycle, le courant du réseau change donc de direction à chaque  $1/120$  de seconde. C'est pourquoi on ne peut pas remarquer qu'une ampoule s'éteint et se rallume à chaque demi-cycle, car la fréquence est trop rapide pour être détectée par l'œil humain.

On exprime la fréquence du courant en hertz (Hz). Un hertz représente un cycle par seconde. Vous verrez souvent cette notation sur les étiquettes d'appareils électriques fonctionnant avec du courant alternatif.

On peut également produire un courant alternatif en plaçant des fils conducteurs autour d'un aimant que l'on fait tourner. Dans ce cas, c'est le champ magnétique qui, en tournant, passe devant les fils conducteurs et produit le courant. C'est le principe d'un alternateur.



## Courant continu

Le courant continu circule dans une seule direction et conserve la même intensité, sans passer par des valeurs nulles comme le courant alternatif. De ce fait, l'arc est plus stable que celui qui provient du courant alternatif et on évite les coupures d'arc qui se produisent parfois lorsqu'on utilise le courant alternatif.

Les piles et les batteries produisent un courant continu grâce à une réaction chimique. Comme dans une pile donnée, c'est toujours la même réaction qui se produit, le courant circule toujours dans le même sens.

Pour ce qui est du soudage, les piles ne sont pas pratiques, car elles ne peuvent pas fournir une grande quantité d'énergie pendant une longue période. On utilise donc une source de courant alternatif et on modifie le courant pour le redresser, c'est-à-dire pour qu'il circule toujours dans la même direction. Vous verrez un peu plus loin la façon d'obtenir ce changement.

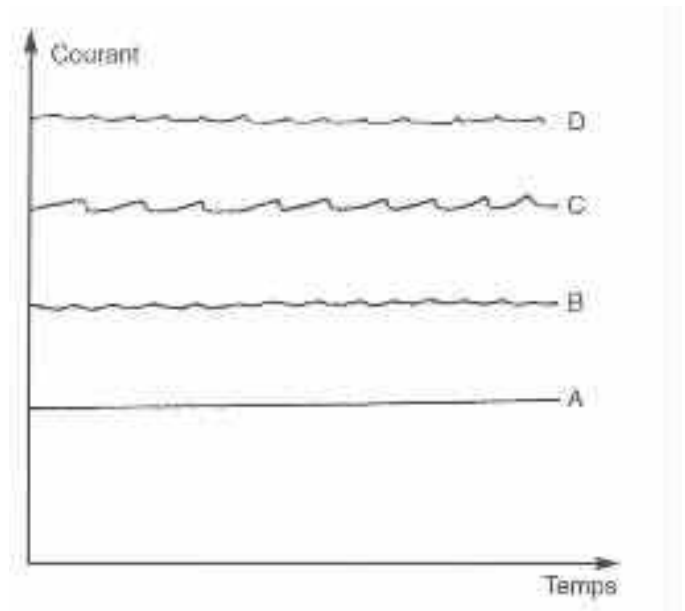


- La ligne A représente le courant produit par une batterie. Ce courant est parfaitement uniforme, car la réaction chimique est toujours la même (jusqu'à l'épuisement des réserves).

- La courbe B représente le courant redressé d'une génératrice de bonne qualité.

- La courbe C est celle d'un transformateur-redresseur de qualité moyenne.

- La courbe D est celle d'un transformateur de grande qualité.



## Sens du courant

Dans un conducteur métallique, les électrons sont les particules qui se déplacent. Lorsque le courant est continu, ils circulent dans le circuit électrique de la borne négative vers la borne positive (sens réel).

Dans le cas du courant alternatif, vous avez vu que le sens du courant change à chaque demi-cycle. Les bornes de la source de courant alternent donc du négatif au positif et les électrons changent ainsi continuellement de direction.

En soudage avec du courant continu, on peut brancher l'électrode à la borne positive ou à la borne négative de la source de courant, selon le type d'électrode et le travail à effectuer. On a l'habitude de désigner le type de branchement par le terme " polarité". Avec le courant continu, il y a deux polarités possibles:

- la polarité normale;

- la polarité inversée.

Lorsque le câble de l'électrode est relié au pôle négatif et la pièce à souder au pôle positif, on dit qu'il que la polarité est normale (CCPN). Cependant, on désigne de plus en plus le branchement par la polarité de l'électrode. Ainsi, pour désigner la polarité normale, on dira: << courant continu, électrode négative >> (CCEN).

Lorsque le câble de l'électrode est relié au pôle positif et la pièce à souder au pôle négatif, on dit que la polarité est inversée (CCPI). Selon la polarité de l'électrode, ce branchement est aussi désigné par l'expression << courant continu, électrode positive >> (CCEP).

## Circuit électrique élémentaire

Résistance et isolants électriques.

Trois éléments importants composent un circuit électrique élémentaire :

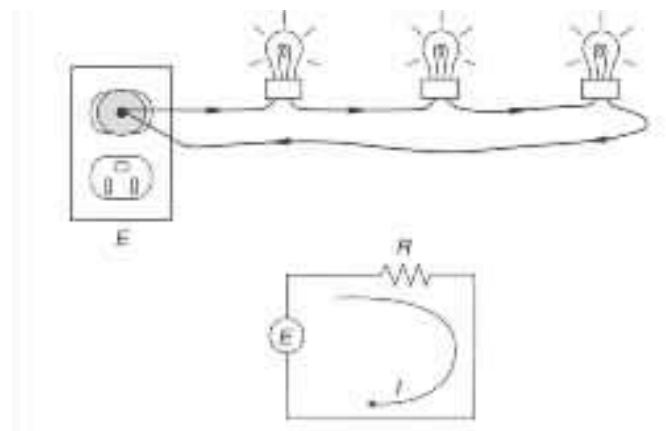
- les conducteurs ;
- les résistances ;
- les isolants.

Vous avez vu précédemment que le courant peut circuler facilement dans un fil de cuivre. On dit donc que le cuivre est un bon conducteur de courant électrique. Les métaux sont conducteurs, certains plus que d'autres. L'or, l'argent, le cuivre et l'aluminium, par exemple, sont de très bons conducteurs de courant électrique.

L'acier et les aciers inoxydables sont de moins bons conducteurs. Ils offrent un peu plus de résistance au passage du courant. Dans un circuit électrique, les éléments qui se comportent ainsi sont appelés des résistances. Lorsqu'un courant circule à travers une résistance, l'énergie est dégagée en chaleur. On se sert de ce principe pour fabriquer des radiateurs de chauffage électriques.

D'autres substances, comme la plupart des plastiques et des céramiques, ne conduisent pas le courant électrique. On les appelle des isolants. Les isolants permettent d'amener le courant là où on en a besoin, sans qu'il soit conduit à travers d'autres parties où on ne veut pas qu'il aille. C'est le but des enveloppes de caoutchouc sur les câbles de soudage. Le courant peut se rendre à l'arc sans être dévié. L'enrobage des électrodes joue le même rôle et permet de souder dans des endroits restreints sans qu'un arc s'amorce sur le côté de l'électrode.

Le schéma en haut représente un circuit élémentaire composé d'une source de courant, constituée par la prise électrique murale, d'une résistance, représentée par l'ampoule, et de conducteurs, qui sont des fils de cuivre. On utilise des isolants pour que le courant soit contenu à l'intérieur du circuit : Ce sont les gaines de plastique qui entourent les fils conducteurs, la partie de plastique de la prise murale, etc. Le schéma du bas représente le même circuit à l'aide de symboles électriques.



Le courant qui circule dans l'ampoule est poussé par la tension du réseau de distribution. Cette tension est mesurée

en volts (V).

Saviez-vous que...

**Dans une prise murale, la tension se situe aux environs de 117 V, alors que le branchement de sècheuses ou de cuisinières s'effectue à 230 V. L'alimentation des installations industrielles s'effectue sous une tension de 600 V.**

La résistance de l'ampoule (R) règle l'intensité de courant (I) qui circule dans le circuit, car la tension est fixe. Plus la résistance est élevée, moins il circule de courant. Cette relation s'appelle loi d'Ohm, dont voici la formule :

$$E = R \times I$$

Dans cette équation :

E = tension en volts (V)

R = résistance en ohms ( $\Omega$ )

I = intensité de courant en ampères (A)

Formules dérivées de la loi d'Ohm

<b>Tension (E ) en volts</b>	<b>Intensité (I) en ampères</b>
R x I	E/R
P/I	P/E
Racine de : P x V	Racine de : P/R
<b>Résistance (R) en ohms</b>	<b>Puissance (P) en watts</b>
E/I	$I^2 \times R$
P/ $I^2$	E x I
$E^2/P$	$E^2/R$

Voyez quelques exemples d'applications concrètes des principes d'électricité.

## Problème

On branche une résistance de 20 W dans une prise électrique de 100 V. Quelle est l'intensité du courant circulant dans la résistance ?

Calcul de l'intensité du courant

De la relation  $E = R \times I$ , on peut déduire que  $I = E/R$

L'intensité du courant est donc de  $100 \text{ V}/20 \text{ W} = 5 \text{ A}$

## Problème

La puissance des ampoules que l'on trouve sur le marché est indiquée en watts (40 W. 60 W. 100 W. etc.). Quelle est l'intensité du courant qui circule dans une ampoule de 60 W branchée à une prise de courant sous une tension de 120 V ?

Calcul de l'intensité du courant

Comme l'indique le tableau la puissance est égale au produit de la tension par le courant :

$$P = E \times I$$

De la relation  $P = E \times I$ , on déduit que  $I = P/E$ .

L'intensité du courant est donc de  $60 \text{ W} \times 120 \text{ V} = 0,5 \text{ A}$

## Problème

Quelle est la puissance requise pour faire fonctionner une électrode enrobée lorsque circule un courant de 200A sous une tension de 25 V ?

Calcul de la puissance

La puissance est égale à  $P = E \times I$ , soit :

$$25 \text{ V} \times 200 \text{ A} = 5000 \text{ W}$$

---

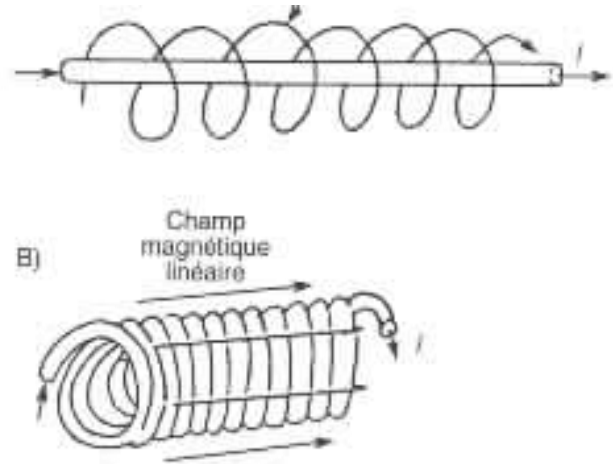
Bobines et condensateurs.

Bien que les conducteurs, les résistances et les isolants forment à eux seuls bon nombre de circuits électriques, vous aurez, au cours de votre travail, à monter d'autres composants de circuits électriques. Les moteurs et les sources de courant de soudage utilisent d'autres éléments qui influencent le passage du courant dans le circuit.

Vous avez vu précédemment dans ce chapitre comment un champ magnétique permet de produire un courant dans un fil conducteur. À l'inverse, on observe aussi que le passage d'un courant dans un fil produit un champ magnétique autour de celui-ci. Lorsqu'on enroule ce même fil, le champ magnétique devient linéaire.

### Champs magnétiques produits par le passage du courant dans un fil conducteur

Les bobines de fil qui constituent les moteurs et les sources de courant de soudage créent donc un champ magnétique linéaire lorsque du courant passe dans celles-ci. Le champ magnétique emmagasine momentanément l'énergie qui parvient sous forme de courant et, de ce fait, retarde le passage du courant dans le circuit.



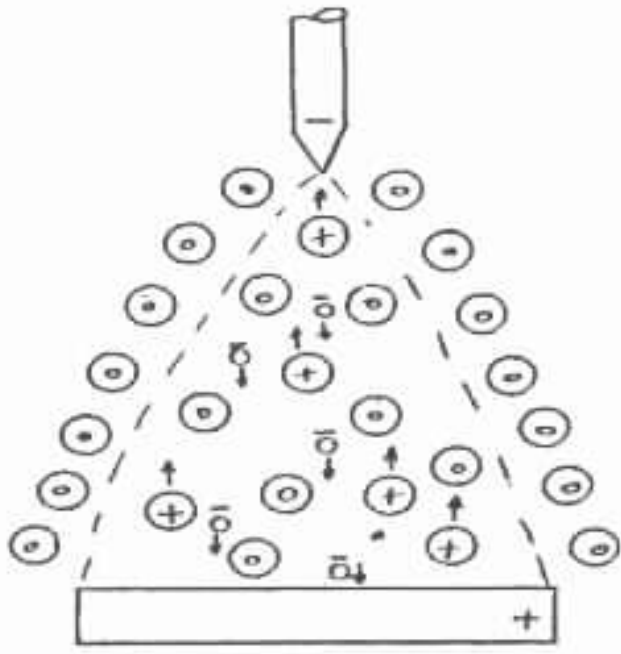
Dans ce cas, on dit que les bobines possèdent une inductance. Pour un instant, la loi d'Ohm ne s'applique plus, car le courant ne suit plus la poussée de la tension.

S'il s'agit d'un courant alternatif, ce phénomène se répète à chaque demi-cycle ; par conséquent, le courant est toujours en retard par rapport à la tension. On dit alors qu'il y a un déphasage entre le courant et la tension.

Il existe un autre élément de circuit électrique qui influence le courant : le condensateur. Les condensateurs ont la propriété de pouvoir se charger d'électricité lorsqu'un courant leur est imposé puis de renvoyer cette électricité au circuit. On dit qu'ils possèdent de la capacitance. Cette caractéristique permet au courant de devancer la tension. Encore une fois, s'il s'agit d'un courant alternatif, le courant est toujours déphasé par rapport à la tension, mais cette fois, il est en avance.

En combinant des bobines avec des conducteurs, on réussit à rendre les circuits électrique à peu près en phase, c'est-à-dire que le courant et la tension suivent à peu près la loi d'Ohm dans le circuit.

### Principe d'un arc électrique



Dans un gaz, les atomes sont peu attirés les uns par les autres. Ils sont libres de se déplacer dans l'espace. Normalement, les gaz comme l'air et les gaz utilisés en soudage à l'arc, comme l'argon, l'hélium, le bioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) ne sont pas conducteurs de courant. Cependant, on peut appliquer suffisamment de tension entre deux points pour réussir à séparer certains électrons de leurs atomes. Les électrons se dirigent alors vers le pôle positif, produisant le courant. Cependant, ayant perdu une charge négative, les atomes ne sont plus neutres. Ils ont une charge positive supplémentaire. On les appelle alors des ions positifs. Comme ils sont libres de se déplacer, les ions positifs sont attirés par le pôle négatif et ils contribuent aussi au passage du courant dans l'arc.

Dans un arc, le courant est donc porté par deux genres de particules :

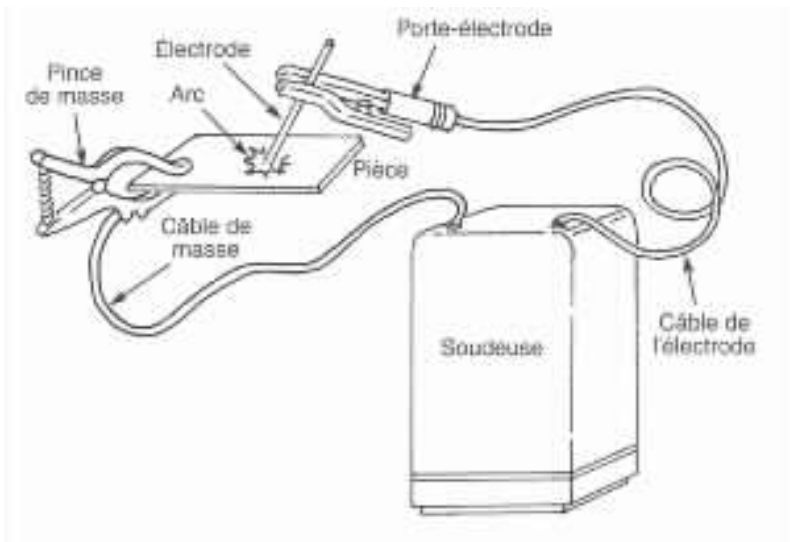
- les particules négatives : les électrons ;
- les particules positives : les ions.

Dans le reste du circuit (solide), seuls les électrons se déplacent. Un arc électrique est donc un gaz ionisé, dans lequel circule un courant électrique.

Si l'on utilise un courant de soudage continu, l'arc, une fois amorcé, portera continuellement le courant, sans s'éteindre. Cependant, si l'on utilise un courant alternatif, le courant cessera de circuler dans le circuit à chaque demi-cycle, et, par le fait même, dans l'arc. L'arc s'éteindra à chaque demi-cycle du courant. Il est donc important, lorsqu'on soude en utilisant le courant alternatif, que l'atmosphère de l'arc constitue un environnement favorable pour réamorcer l'arc.

Vous verrez plus loin comment le type de courant influence la distribution de chaleur dans l'arc.

## Circuit électrique de soudage



Un circuit électrique de soudage à l'arc comprend plusieurs résistances : long câble de masse, long câble de l'électrode, connexions, électrode, arc, etc.

La tension de la soudeuse doit être assez élevée pour pousser le courant à travers toutes ces résistances. C'est pourquoi la tension à la sortie de la soudeuse n'est pas la même que la tension de l'arc. Cette dernière ne représente que le produit de la résistance de l'arc par le courant de soudage.

## Problème

### Calculatrice

Dans une électrode enrobée circule un courant de 120 A. La lecture d'un voltmètre indique que la source de courant utilise une tension de 29 V, alors que l'arc ne nécessite que 25 V pour fonctionner. Quelle est la résistance du reste du circuit de soudage?

Calcul de la différence de tension

La différence est de :  $29 \text{ V} - 25 \text{ V} = 4 \text{ V}$

Calcul de la résistance du reste du circuit

Par la loi d'Ohm,  $R = E/I$ , on peut trouver la valeur de la résistance :

$R = 4 \text{ V} , 120 \text{ A} = 0,33 \text{ W} .$

## Résumé

Le courant dans un fil conducteur est le résultat de la circulation d'électrons dans le fil dans une direction donnée.

Lorsqu'un fil conducteur coupe un champ magnétique, un courant est produit dans ce fil.

Le courant alternatif est constitué d'un mouvement d'aller-retour des électrons à travers un corps conducteur.

En Amérique du Nord, la séquence du courant fourni par le réseau de distribution est de 60 Hz.

Le courant continu circule dans une seule direction, sans variation d'intensité. Avec le courant continu, il y a deux polarités: La polarité normale et la polarité inversée.

Lorsque le câble de l'électrode est relié au pôle négatif et la pièce à souder au pôle positif (CCEN), on dit que la polarité est normale (CCPN).

Lorsque le câble de l'électrode est relié au pôle positif et la pièce à souder au pôle négatif (CCEP), on dit que la polarité est inversée (CCPI).

La loi d'Ohm établit la relation entre la tension l'intensité du courant et la résistance d'un circuit électrique de la manière suivante :  $E = R \times I$ .

La puissance d'un circuit est obtenue en multipliant la tension par l'intensité du courant :  $P = E \times I$ .

Un courant électrique dans un fil conducteur crée un champ magnétique autour de celui-ci. Si l'on enroule ce fil, le champ magnétique devient linéaire. Les bobines de fil à l'intérieur des moteurs et des postes de soudage retardent le courant par rapport à la tension. On appelle cette propriété l'inductance.

Les condensateurs ont l'effet inverse des bobines : ils placent le courant en avance sur la tension. On appelle cette propriété la capacitance.

Un arc électrique est un gaz ionisé, dans lequel circule un courant électrique.

Les principaux éléments qui constituent un circuit de soudage sont : la soudeuse, le câble de masse, le câble de l'électrode, l'électrode, l'arc, la pièce à souder, la table de travail. Ces éléments offrent une résistance au passage du courant ; c'est pourquoi la tension à laquelle on règle la soudeuse est plus élevée que celle de l'arc.

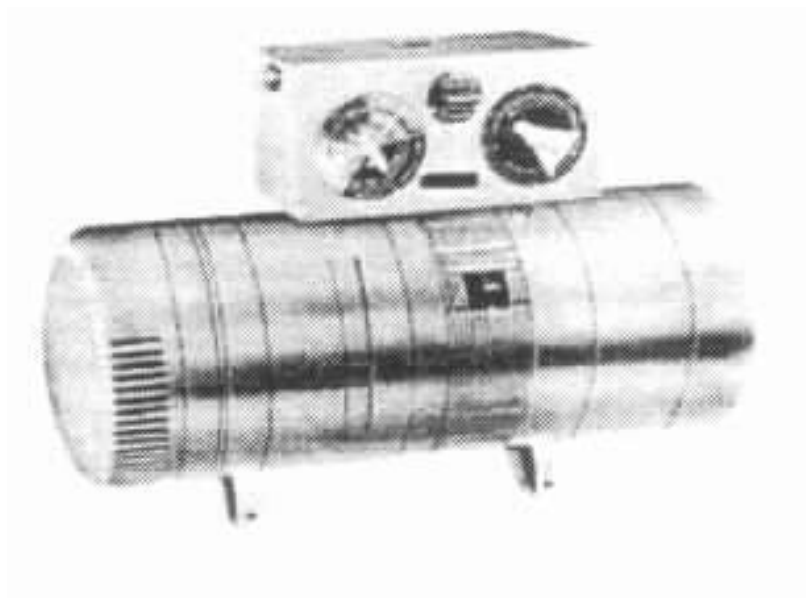


## CARACTERISTIQUES ET FONCTIONNEMENT DES SOUDEUSES À L'ARC ÉLECTRIQUE

Selon son mode de production, le courant de soudage peut provenir de deux principales sources:

- une génératrice, qui produit le courant de soudage voulu;
- le réseau de distribution. On doit alors transformer le courant du réseau pour obtenir le type de courant approprié.

Sources dynamiques: les génératrices et les alternateurs



On identifie les génératrices et les alternateurs comme des sources de courant dynamiques, car un mouvement de rotation est nécessaire pour produire le courant. Un moteur est requis pour faire tourner la génératrice ou l'alternateur. Il peut s'agir d'un moteur électrique ou d'un moteur à combustion interne.

Les sources dynamiques à moteur à combustion interne sont très utiles pour effectuer un travail dans des endroits où l'on n'a pas facilement accès à une prise électrique de capacité suffisante pour le travail de soudage. On les utilise beaucoup sur les chantiers de construction, les installations de pipelines, pour effectuer diverses réparations à l'extérieur, etc.



Les moteurs électriques ne sont pratiquement plus utilisés; dans l'industrie, on emploie surtout des sources statiques de courant (transformateurs).

En contrepartie, les sources dynamiques de courant présentent les désavantages suivants:

- Elles sont bruyantes.
- Elles nécessitent un entretien suivi, car elles sont composées de beaucoup de pièces mobiles.
- Lorsqu'elles sont entraînées par un moteur à combustion interne, on ne peut pas les utiliser à l'intérieur, à moins de disposer d'un bon système d'évacuation des gaz d'échappement.

Sources statiques: les transformateurs

En raison de leurs désavantages, les sources de courant dynamiques ne sont pas utilisées dans les usines ou les ateliers où l'on soude couramment. On emploie plutôt des transformateurs branchés sur le réseau de distribution d'électricité.

Leur fonctionnement est assez simple et ils ne comportent pas de pièces rotatives, ce qui diminue l'usure et réduit les frais d'entretien. De plus, les transformateurs sont moins bruyants que les sources dynamiques, ce qui les rend plus agréables à utiliser. Vous étudierez le principe de fonctionnement du transformateur un peu plus loin dans ce chapitre.



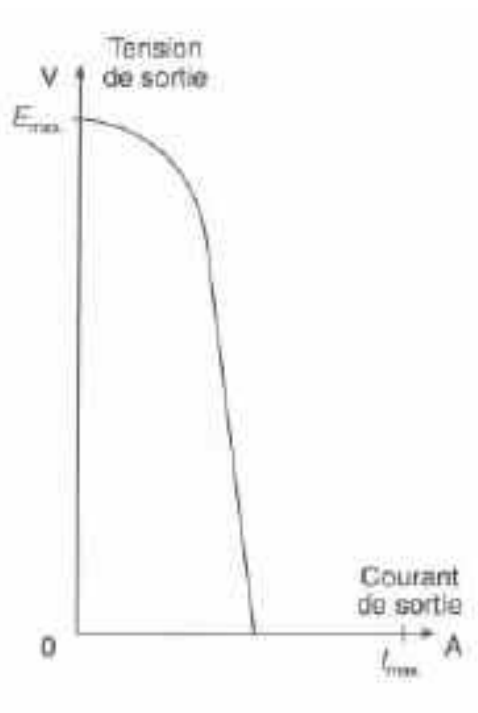
## Courbes caractéristiques tension-intensité des soudeuses

Les fabricants de soudeuses connaissent les caractéristiques nécessaires au bon fonctionnement des divers procédés de soudage et fabriquent l'équipement en conséquence. Les soudeuses se divisent en deux grandes catégories:

- les soudeuses à caractéristique tombante;
- les soudeuses à caractéristique horizontale.

Les courbes caractéristiques des soudeuses permettent de comprendre leur fonctionnement. Ces courbes sont obtenues en relevant les différentes valeurs de tension de l'arc en fonction des valeurs de l'intensité de courant produite par la soudeuse.

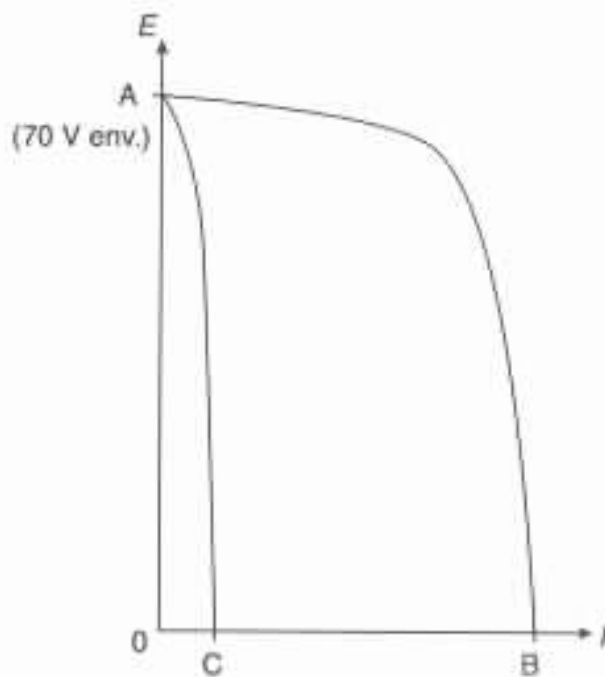
## Courbes caractéristiques tombantes (plongeantes)



La relation entre la tension et l'intensité du courant à la sortie d'une soudeuse, réglée à une puissance quelconque. On peut remarquer que, pour une grande différence de tension, l'intensité du courant ne varie pas beaucoup. C'est ce que l'on appelle une courbe caractéristique plongeante ou tombante. Les soudeuses présentant une telle courbe sont des soudeuses à courant constant.

## Fonctionnement d'une soudeuse à caractéristique plongeante

L'exemple suivant vous permettra de comprendre comment est tracée la courbe de fonctionnement d'une soudeuse à caractéristique plongeante. L'axe vertical indique les valeurs de la tension, lues à différents moments. L'axe horizontal indique l'intensité du courant de sortie aux mêmes moments.



**Le point A représente la tension à vide, c'est-à-dire la tension lue lorsque le circuit de soudage n'est pas encore en fonction, avant d'amorcer un arc (intensité du courant = 0). La tension à vide se situe entre 60 et 80 V environ, pour faciliter l'amorçage de l'arc.**

**Les points B et C représentent l'intensité du courant de court-circuit, c'est-à-dire l'intensité du courant lorsque l'électrode touche la pièce à souder, fermant ainsi le circuit électrique (tension = 0). L'intensité dépend de la capacité de la soudeuse et du réglage de ses paramètres.**

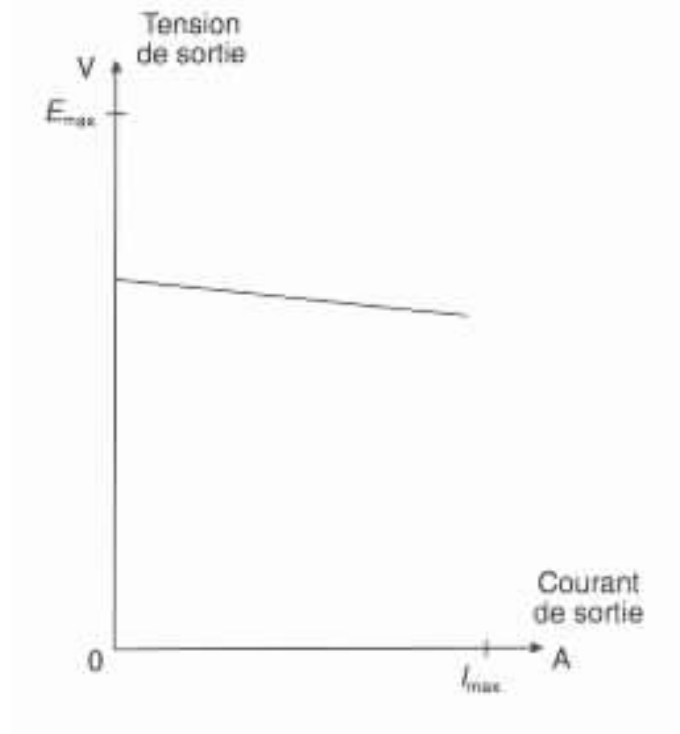
**La courbe A-B est obtenue en réglant l'intensité de la soudeuse au maximum et en relevant les paramètres de fonctionnement dans la situation suivante: en amorçant un arc et en le faisant fonctionner à différentes longueurs, ce qui requiert différentes tensions d'arc.**

**La courbe A-C est obtenue en réglant l'intensité de la soudeuse au minimum et en relevant les paramètres de fonctionnement.**

Ces deux courbes indiquent les limites inférieure et supérieure de la capacité de fonctionnement de la soudeuse testée. Si la soudeuse possédait une commande infiniment précise, tous les points compris entre ces deux courbes représenteraient des paramètres de fonctionnement possibles pour cette soudeuse.

Les procédés de soudage à l'arc fonctionnent pour la plupart à une tension comprise entre 15 et 40 Volts. Une fois réglées, les soudeuses à caractéristique plongeante produisent une intensité de courant pratiquement constante, quelle que soit la tension de sortie, c'est-à-dire quelle que soit la longueur d'arc. Vous verrez plus loin l'utilité de cette caractéristique lors du soudage.

### Courbe caractéristique plate (horizontale)

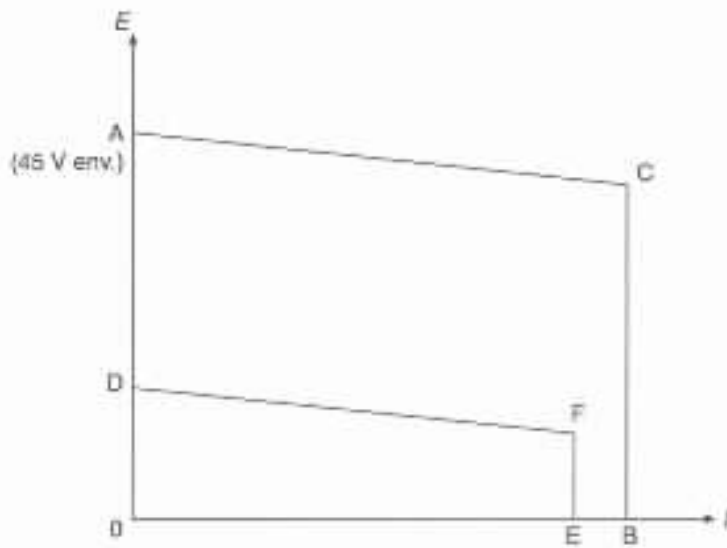


La relation entre la tension et l'intensité du courant à la sortie d'une soudeuse à tension constante ou à potentiel constant. En effet, pour une grande plage d'intensités, la tension de sortie ne varie que très peu. Il s'agit d'une courbe caractéristique plate ou horizontale.

### Fonctionnement d'une soudeuse à caractéristique horizontale

La relation entre la tension et le courant aux bornes de sortie d'une soudeuse à de sortie caractéristique horizontale.

### Courbes caractéristiques horizontales minimale et maximale



On remarque que la tension à vide (point A) est d'environ 45 V. De plus, l'intensité du courant de court-circuit est pratiquement la même que celle du courant maximal à la tension maximale (points B et C).

Lorsqu'on règle la tension du courant de la soudeuse au minimum, on obtient la courbe D-F-E. Si la soudeuse possédait une commande infiniment précise, tous les points situés entre les deux courbes représenteraient des paramètres de fonctionnement possibles pour cette soudeuse.

## Soudeuses à courant alternatif et à courant continu

Vous avez vu que les soudeuses peuvent être du type dynamique (à moteur) ou du type statique (transformateur). Ces deux types de soudeuses peuvent posséder une caractéristique soit plongeante, soit horizontale.

En plus du mode de production du courant et de leur courbe tension-intensité, on distingue les soudeuses selon le type de courant qu'elles peuvent fournir: courant alternatif ou courant continu. Les soudeuses à courant constant peuvent être à courant alternatif, à courant continu ou offrir ces deux types de courants. Les soudeuses à potentiel constant offrent normalement seulement du courant continu, quoiqu'on puisse trouver exceptionnellement des soudeuses à courant alternatif.

## Autres types de soudeuses

Plusieurs modèles de soudeuses sont utilisés dans l'industrie. On y utilise notamment:

- les soudeuses à courant pulsé;
- les soudeuses à courant constant et à potentiel constant dans un même coffre;
- les soudeuses à utilisateurs multiples.

## Soudeuses à courant pulsé

La pulsation du courant de soudage a pour but de produire une pénétration suffisante pour un travail donné, tout en fournissant le minimum d'énergie possible au bain de fusion, ce qui lui permet de se refroidir durant le soudage. Par des manipulations électriques et électroniques, les fabricants de soudeuses

réussissent à faire passer le courant de soudage d'une valeur minimale juste suffisante pour le maintien de l'arc, à une valeur maximale assez élevée pour obtenir la fusion désirée de la pièce à souder.

Cette technique est utilisée en soudage GTAW ( soudage à l'arc avec électrode réfractaire sous protection gazeuse) à des fréquences plutôt faibles, entre 1 et 30 pulsations par seconde environ. En soudage GMAW (soudage à l'arc avec fil-électrode plein sous protection gazeuse), les fréquences sont beaucoup plus élevées, soit entre 25 et 300 pulsations par seconde environ. Ces soudeuses seront étudiées plus en détail dans les modules traitant des procédés de soudage GMAW et GTAW.

## Soudeuses à courant constant et à potentiel constant dans un même coffre

Il existe aujourd'hui d'excellentes soudeuses dont la caractéristique de sortie peut être modifiée de plongeante à horizontale par un simple déplacement d'un bouton sur le panneau de commande. Ces soudeuses sont beaucoup plus polyvalentes, car elles permettent l'utilisation d'une plus grande variété de procédés de soudage à l'arc.

## Soudeuses à utilisateurs multiples

Les soudeuses à utilisateurs multiples sont en quelque sorte des centrales de distribution de courant de soudage. Une soudeuse de grande capacité est installée à un endroit donné, et de là part un câble de distribution du courant de soudage. Le long de ce câble, on installe des raccords sur lesquels se branchent des postes de soudage individuels. De même, on utilise un long câble de retour sur lequel sont placés des raccords pour chaque boîte de commande.

Ce genre d'installation est surtout utilisé lorsque les postes de travail sont fixes et que l'aire de travail est restreinte. On l'utilise aussi parfois lorsque la pièce à souder est très grande, par exemple lors de la rénovation complète d'un pont, alors que toute la longueur peut être en réparation. On se sert alors de la structure même du pont comme conducteur de retour.

Le temps de réaction de ces postes est souvent moins bon que celui des postes de soudage individuels.

## Identification des soudeuses

Une plaque signalétique est apposée sur les soudeuses. Celle-ci fournit des informations sur l'identification de l'appareil, son type et sa capacité.

## Plaque signalétique d'une soudeuse

## Courant continu

\* modèle SR-500

\*\* numéro de série HD 727890

## Circuit primaire

Volts (tension à l'entrée du transformateur)	230/460/575 V
Ampères (intensité du courant)	38/19/15 A
Kilowatts (énergie consommée en une heure)	9,5 kW
Kilovolts-ampères (puissance du transformateur)	15,2 kV~A
Trois phases	60 Hz

## Circuit secondaire

Volts (tension à la sortie du transformateur)	28V
Ampères (capacité de la soudeuse)	200 A
Facteur de marche	60%
Tension maximale à circuit ouvert (avant l'amorçage) "OCV"	72V
Température d'échauffement	90 °C

\* Modèle SR-500: type d'appareil

\*\* N° de série: numéro de série du fabricant



Le circuit primaire correspond au courant d'alimentation de la soudeuse (entrée), tandis que le circuit secondaire correspond au courant produit par la soudeuse (sortie).

Les fabricants indiquent la capacité des soudeuses de la manière suivante: « Intensité nominale @ tension nominale, facteur de marche ».

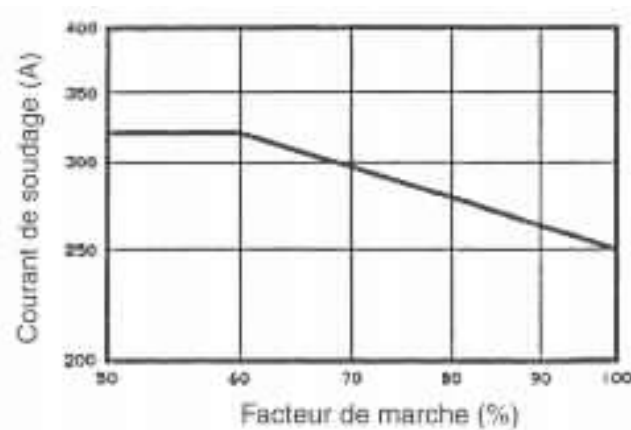
L'intensité nominale et la tension nominale sont déterminées par l'Association des fabricants d'équipement électrique américains (National Electrical Manufacturers Association). La lecture ainsi que le réglage de l'intensité s'effectuent à l'avant de la soudeuse. L'intensité nominale d'une soudeuse désigne l'intensité maximale qu'elle peut fournir. L'intensité des soudeuses varie entre 100 et 1200 A, suivant la puissance de l'appareil.

Puissance de différentes soudeuses



Travaux	Diamètre de l'électrode (mm)	Intensité du courant(A)	Puissance électrique nécessaire (kW)
Légers	Jusqu'à 3,25	Moins de 150	5
Normaux	Jusqu'à 5	Moins de 300	8 à 10
À forte puissance	Jusqu'à 8	Jusqu'à 600 et même plus	18

## Le facteur de marche



Le facteur de marche est exprimé en pourcentage et représente le nombre de minutes sur une période de dix minutes pendant lesquelles la soudeuse peut fonctionner à ses valeurs nominales sans surchauffer et sans risquer de s'endommager à la longue. Par exemple, une soudeuse dont le régime d'utilisation est de 60 % a été conçue pour fournir une intensité maximale pendant six minutes à toutes les dix minutes.

Les soudeuses destinées aux procédés manuels (SMAW, GTAW) possèdent souvent des facteurs de marche de 60 %, alors que les soudeuses pour les procédés automatiques (SAW) ou semi-automatiques (GMAW, FCAW) possèdent généralement des facteurs de marche de 100 %.

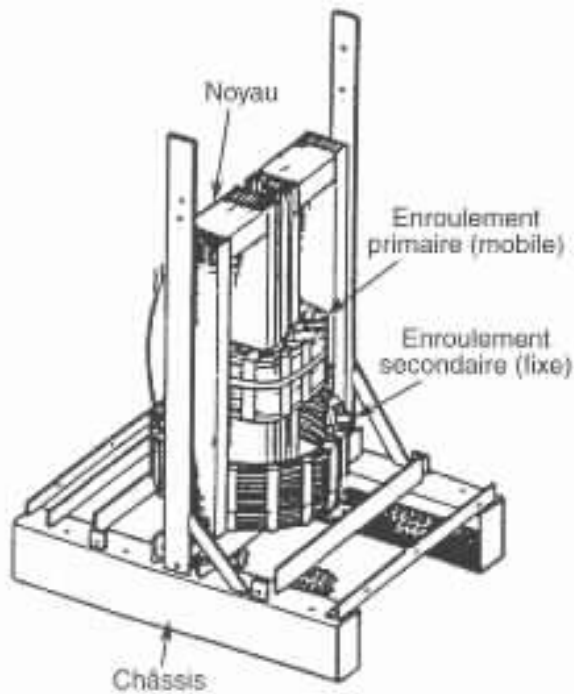
Les fabricants fournissent généralement avec les soudeuses un tableau ou un graphique indiquant la capacité de la soudeuse selon différents paramètres de fonctionnement afin de guider l'utilisateur qui veut connaître les limites de son poste.

## Soudeuses à courant alternatif: transformateurs

Le transformateur permet de convertir le courant du réseau, dont la tension est élevée et l'intensité faible, en courant de soudage, c'est-à-dire un courant de basse tension et de forte intensité. Le principe de fonctionnement d'un transformateur est assez simple.

Lorsqu'on examine les lignes de force disposées autour d'un aimant, on remarque que seules les plus rapprochées transmettent toute leur énergie entre les deux pôles. En effet, l'air n'est pas un très bon conducteur de lignes de force. Les lignes un peu plus éloignées perdent rapidement une grande partie de leur énergie.

Par contre, les lignes de force peuvent être conduites beaucoup plus facilement par une pièce d'acier doux. C'est ce que l'on utilise comme noyau d'un transformateur.



Lorsqu'un courant circule dans l'enroulement primaire, un champ magnétique est produit. Ce champ magnétique, porté de l'autre côté du cadre d'acier, peut être récupéré par un enroulement de fil conducteur placé à cet endroit. On parle alors d'une tension induite, résultant en un courant induit dans l'enroulement secondaire.

Il est à noter que cette action ne peut se produire que si l'on utilise un courant alternatif. C'est la montée et l'effondrement du champ magnétique qui permet ce transfert d'un enroulement à l'autre.

On appelle un tel appareil un transformateur, car il transforme la tension et le courant de l'enroulement primaire, à l'entrée, en une tension et un courant différents à l'enroulement secondaire, à la sortie.

La tension est transformée dans le même rapport que celui du nombre de tours de fil (spires) des enroulements. Le courant est au contraire transformé dans le rapport inverse. Cela s'explique par le fait que ce qui est transmis d'un enroulement à l'autre du transformateur est une quantité d'énergie. Comme l'énergie est l'expression de la puissance multipliée par le temps, et que la puissance est égale à  $E \times I$ , si la tension ( $E$ ) augmente, le courant ( $I$ ) doit diminuer pour conserver la puissance constante. On exprime la puissance d'un transformateur en volts-ampères plutôt qu'en watts, car il n'est pas composé de résistances, mais bien d'enroulements. Cette valeur est le produit de la tension maximale par l'intensité maximale.

### Exemple de fonctionnement d'un transformateur

Un transformateur est branché à une prise de courant sous une tension de 600 V. L'enroulement primaire du transformateur compte 600 tours de fil et l'enroulement secondaire en compte 60. À partir de ces données, il est possible de déterminer la tension obtenue à la sortie du transformateur, à son enroulement secondaire.

Le rapport du nombre de tours de fil entre l'enroulement secondaire et l'enroulement primaire est de 60: 600, soit 1: 10. La tension étant transformée dans le même rapport que le nombre de tours de fil, la tension à l'enroulement secondaire, à la sortie, sera de 60 V, soit 1/10 de 600 V.

Si, lors de l'utilisation du transformateur, l'intensité du courant à l'entrée est de 20 A, quelle sera l'intensité du courant à la sortie? Le courant étant transformé dans le rapport inverse du nombre de tours de fil (10: 1), l'intensité du courant sera de 200 A, soit:

$I = 10 \times 20A$ .

Comme vous pouvez le constater, ce genre de transformateur permet d'abaisser la tension à des valeurs utilisables en soudage tout en augmentant l'intensité du courant pour fondre l'électrode et le métal de base.

## Caractéristiques des transformateurs utilisés en soudage à l'arc

Les transformateurs simples constituent des soudeuses à courant alternatif. Ces transformateurs ont un fonctionnement silencieux. Ils ne comportent pas de pièces rotatives et ont un rendement élevé pour des coûts d'achat, d'utilisation et d'entretien minimaux. De plus, ils permettent d'éliminer presque complètement les problèmes de « soufflage d'arc » que l'on rencontre avec les soudeuses à courant continu. Vous verrez un peu plus loin en quoi consiste ce problème.

Par contre, les transformateurs ne sont pas compatibles avec toutes les sortes d'électrodes, ce qui limite quelque peu leurs applications. Enfin, l'arc produit est moins stable que celui qui provient d'une soudeuse à courant continu.



Pour utiliser un transformateur avec un courant continu, il faut utiliser un pont de redressement, comme pour les alternateurs. On désigne alors ces soudeuses par l'expression « transformateurs-redresseurs ».

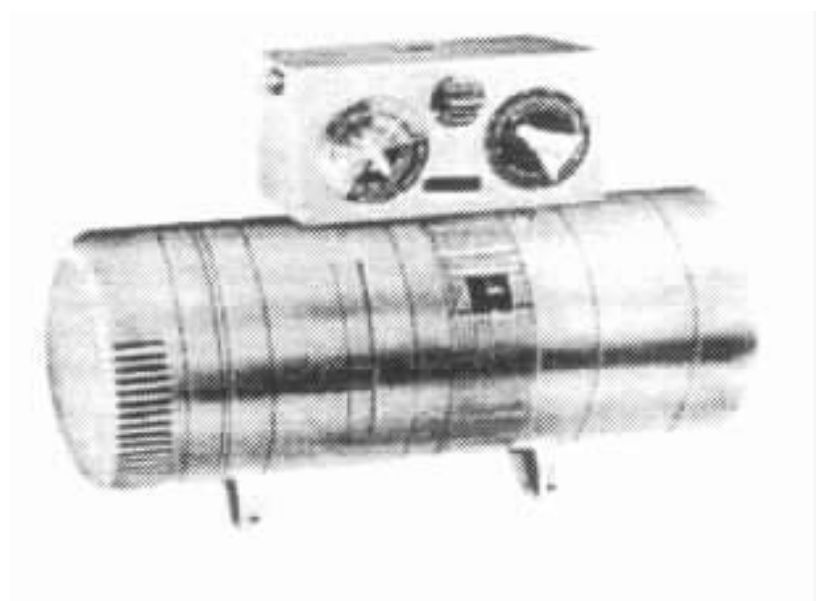


## Soudeuses à courant continu: générateurs et redresseurs

Vous avez vu qu'en soudage, il est souvent plus efficace d'utiliser un courant continu afin d'obtenir un arc plus stable. Comme le réseau de distribution produit un courant alternatif, il faut le modifier pour le rendre continu. Pour ce faire, on peut employer des générateurs ou des redresseurs.

### Générateur

**Générateurs** Dans le cas de ces soudeuses, le courant est fourni par une génératrice (figure 1.27). Le courant alternatif est transformé en courant (redressé) selon un principe de « commutation ». La bague collectrice de courant du poste agit comme un commutateur; elle est sectionnée de façon à ne recueillir le courant que lorsque son intensité est maximale et toujours lorsque le fil circule dans la même direction (en montant par exemple) dans le champ magnétique. Ainsi, le courant recueilli varie peu en intensité et circule toujours dans la même direction. Le courant du réseau sert uniquement à alimenter le moteur du générateur.

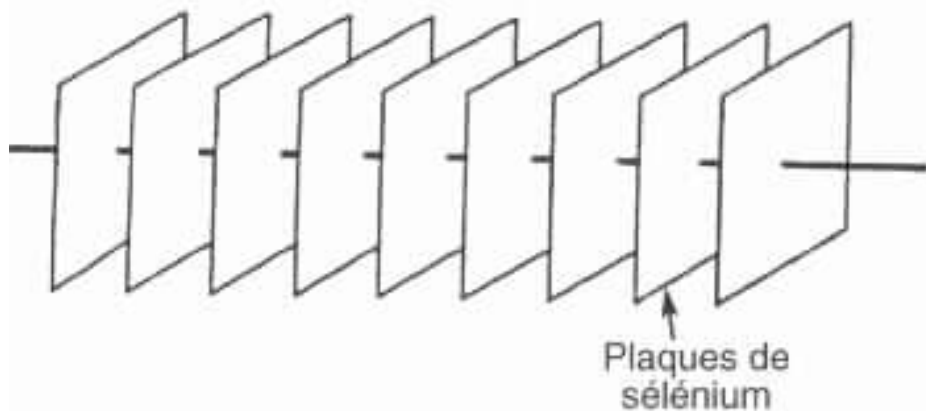


## Redresseurs

Dans l'industrie, les redresseurs sont largement employés comme source de courant continu. Un redresseur est constitué d'un transformateur auquel on ajoute un redresseur au silicium ou au sélénium qui permet de convertir le courant alternatif, provenant d'un alternateur ou du réseau de distribution, en courant continu.

### Redresseurs au sélénium

L'un des premiers redresseurs au sélénium. Il est constitué de plaques d'aluminium recouvertes d'une couche de sélénium et d'une couche d'alliage de cadmium et d'autres éléments.



Un courant arrivant entre ces deux couches, selon qu'il est d'un sens ou de l'autre, peut circuler librement ou très difficilement, produisant un courant redressé. Pour pouvoir porter un fort courant comme celui nécessaire au soudage, le redresseur au sélénium doit comprendre plusieurs plaques. Il est donc encombrant et coûteux à fabriquer. De nos jours, les diodes et les thyristors ont remplacé les redresseurs au sélénium dans la fabrication des postes de soudage.

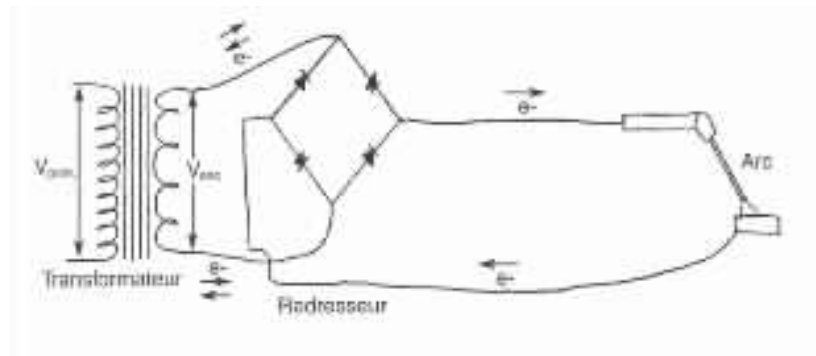
## Diodes et thyristors

Les diodes et les thyristors fonctionnent selon le même principe que

le redresseur au sélénium, sauf qu'ils sont beaucoup plus efficaces. Ils sont composés de deux couches de silicium, chacune alliée à des éléments différents qui en modifient les propriétés électriques.

Comme pour les redresseurs au sélénium, la fonction de ces deux couches différentes est d'empêcher le courant de circuler dans l'une des deux directions. En connectant quatre diodes dans un ordre bien précis (pont redresseur), on réussit à recueillir le courant alternatif et à le faire circuler dans la même direction lorsqu'il passe dans l'électrode.

Représentation schématique d'un circuit électrique d'un poste de soudage constitué d'un transformateur-redresseur.



## Caractéristiques des redresseurs



Les redresseurs permettent d'obtenir une polarité normale ou inversée. La soudeuse à courant continu peut être considérée, de manière générale, préférable à celle à courant alternatif en raison de la grande stabilité de l'arc qu'elle produit. De plus, elle permet de varier à loisir l'intensité de soudage.

Par contre, avec du courant continu l'arc peut parfois devenir incontrôlable. Les gouttelettes de métal fondu se dirigent dans tous les sens et semblent être soufflées hors du bain de fusion. Ce phénomène, que l'on appelle « soufflage d'arc », est provoqué par la création de champs magnétiques autour de celui-ci. Cependant, il existe certains moyens qui permettent de réduire ce phénomène, lesquels vous seront présentés un peu plus loin dans ce module.

## Soudeuses à courant alternatif et continu (mixtes)



La mise au point des redresseurs a facilité la fabrication des soudeuses mixtes, qui peuvent fournir soit un courant alternatif, soit un courant continu (figure 1.31). On peut alors combiner les avantages de ces deux types d'appareils en faisant appel au courant continu pour exécuter certains travaux, tandis qu'on utilise le courant alternatif pour d'autres.

Les principales différences entre les soudeuses à courant alternatif et à courant continu.

### Avantages des différents types de soudeuses

Type d'appareil	Avantages
Soudeuse à courant alternatif (transformateur c.a.)	Fonctionnement silencieux Pas de soufflage de l'arc Rendement élevé Absence de pièces rotatives Coûts d'entretien et d'utilisation peu élevés
Il ne faut cependant pas oublier que certaines électrodes ne sont pas compatibles avec le courant alternatif.	

Soudeuse à courant continu (redresseur c.c.)

Très grande stabilité de l'arc

Fonctionnement silencieux

Rendement élevé

Absence de pièces rotatives

Coûts d'entretien et d'utilisation peu élevés

Il faut se rappeler que ce type d'appareil est plus sensible au phénomène du soufflage de l'arc.



Les soudeuses à courant alternatif sont les moins coûteuses, alors que les soudeuses mixte sont les plus coûteuses.

## Conditions de maintien d'un arc

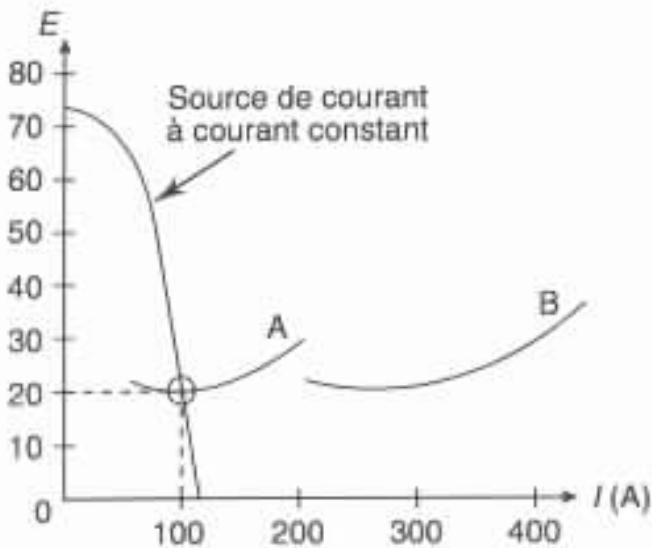
Pour qu'un arc puisse continuer de porter le courant, des conditions électriques spécifiques relatives à la composition de son atmosphère doivent être maintenues. Le réglage des paramètres de fonctionnement de l'arc dépend de plusieurs facteurs: type d'électrode, grosseur de l'électrode, type de gaz de protection, type de courant, etc.

## Plage d'utilisation d'un arc de soudage

Pour régler les paramètres de fonctionnement d'une soudeuse, on se base sur une courbe caractéristique fixe. L'arc qui sera amorcé dans ces conditions devra fonctionner à l'un des points de fonctionnement possibles de la courbe choisie.

## Courbe caractéristique plongeante d'une soudeuse conventionnelle





La courbe A indique les paramètres de fonctionnement possibles d'un arc donné. Elle pourrait, par exemple, représenter l'arc obtenu avec une électrode enrobée de petit diamètre. Dans ce cas, le travail de soudage est possible, car la courbe de l'arc croise la courbe de fonctionnement de la soudeuse. Le point d'intersection de ces deux courbes indique les paramètres de fonctionnement. Par conséquent, le réglage de la soudeuse permet de souder avec l'électrode de l'arc A à une intensité de 100 A sous une tension de 20 V.

Pour sa part, la courbe B pourrait représenter les paramètres de fonctionnement d'un arc obtenu avec une grosse électrode. La courbe de cet arc ne croise pas la courbe de la soudeuse. Il est donc impossible de faire fonctionner cet arc avec les paramètres actuels de la soudeuse. Il faut alors régler à nouveau l'intensité sur la soudeuse.

Évidemment, un arc électrique ne peut pas fonctionner à tous les points de fonctionnement possibles de la soudeuse. Les caractéristiques d'un arc varient selon le milieu qui le constitue. En d'autres termes, l'arc produit par une électrode enrobée n'exigera pas les mêmes conditions de fonctionnement que celui produit par un fil plein sous protection gazeuse. De même, une électrode basique n'utilisera pas les mêmes paramètres électriques qu'une électrode cellulosique.

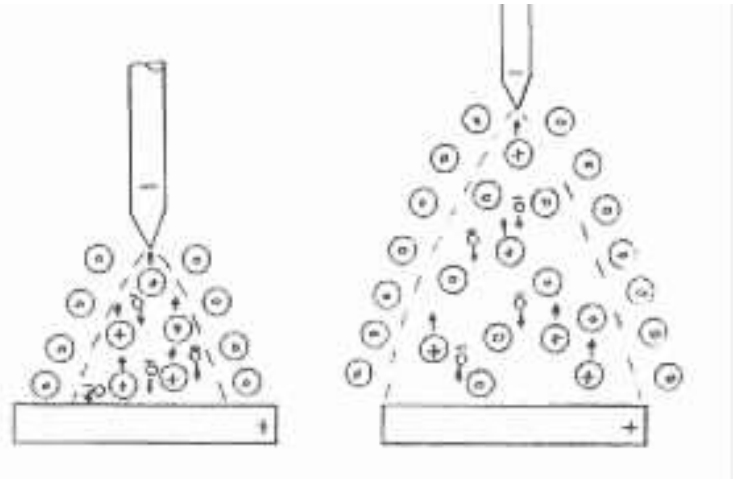
Toutes les combinaisons de métaux d'apport, de gaz de protection, d'enrobages d'électrodes, de diamètres, etc. produisent des arcs différents qui ont des paramètres électriques de fonctionnement qui leur sont propres. Il faut donc régler les paramètres de la soudeuse de façon à obtenir l'arc voulu.

### Réglage de la tension selon la longueur de l'arc

#### Arcs de même intensité mais de longueur différente



Plus un arc est long, plus la tension nécessaire pour faire circuler le courant doit être élevée. Par exemple, deux arcs dans lesquels circule la même intensité de courant; le même nombre d'électrons et d'ions circulent dans ces deux arcs. Cependant, l'arc le plus long offre plus de résistance au passage du courant, car un plus grand nombre d'atomes s'interposent entre les deux pôles. La pression doit donc être plus forte pour y faire passer le même courant, c'est-à-dire que la tension doit être plus élevée.



Selon la loi d'Ohm ( $E = R \times I$ ), une résistance accrue entraîne une tension plus élevée si l'intensité demeure la même.

## Arc libre et arc plasma

### Arc libre

Dans la plupart des applications de soudage à l'arc, l'arc est établi entre une électrode et la pièce à souder dans une atmosphère libre (sans protection gazeuse).

Dans ces conditions, l'arc prend plus ou moins la forme d'un cône, dont la tête est située sur l'électrode et la base sur la pièce. La forme de l'arc varie selon le procédé de soudage, le type d'électrode et le gaz de protection utilisés. Cependant, tous les arcs ont tendance à s'élargir près de la pièce à souder.

Ce phénomène a un effet sur la concentration d'énergie dans l'arc. Le centre de l'arc la partie la plus claire, est l'endroit où il passe le plus de courant et où les températures sont les plus élevées. La pénétration obtenue dans la pièce est donc plus profonde au centre que sur les côtés de l'arc. Cette répartition inégale de l'énergie dans l'arc libre a plusieurs désavantages, notamment les suivants:

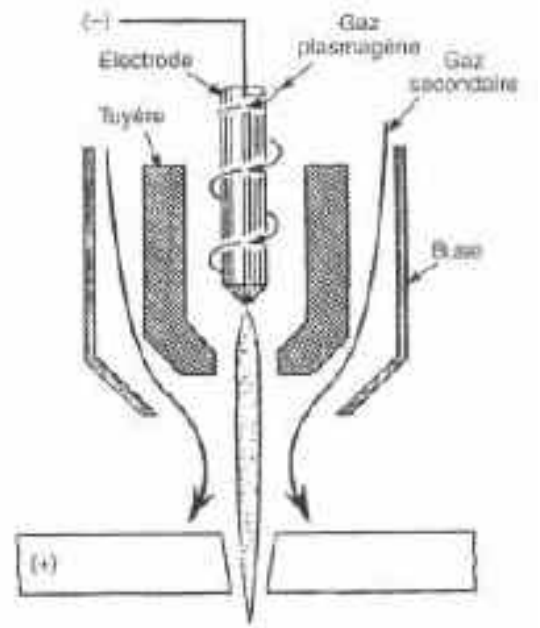
- Elle limite la profondeur de pénétration.
- Elle favorise la déformation angulaire de la pièce à souder.

### Arc plasma

Dans le cas du procédé GTAW, l'arc est maintenu entre une électrode de tungstène qui en principe ne fond pas pendant le soudage, et la pièce. L'arc obtenu est alors semblable à l'arc libre (cône).

## Principe d'une torche plasma

Cependant, lorsqu'on place devant l'électrode un disque de cuivre percé d'un petit trou au centre, le gaz de protection est forcé de passer par ce point focalisé. L'arc doit donc nécessairement traverser ce petit orifice. Cet étranglement produit un arc en forme de colonne, très brillant. Il conduit le courant presque uniformément sur toute sa section. C'est ce que l'on appelle l'arc plasma.



L'arc plasma offre deux avantages importants:

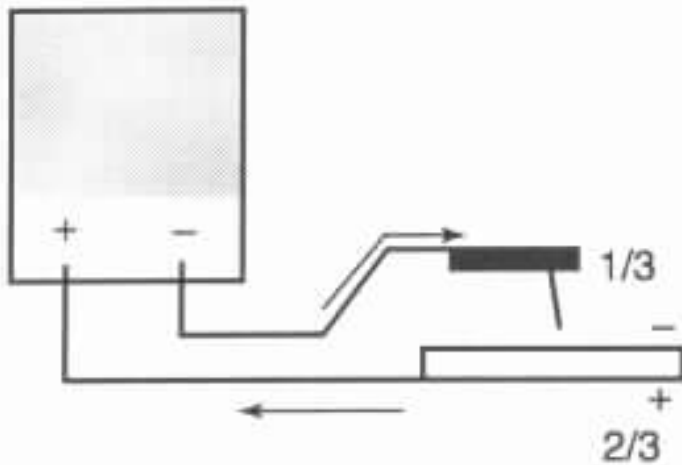
- Il augmente la profondeur de pénétration.
- Il permet d'obtenir des côtés plus droits (verticaux).

L'arc plasma permet donc de souder des pièces d'une épaisseur donnée avec une intensité de courant moindre que celle requise par l'arc libre, tout en réduisant la déformation des pièces.

## Répartition de la chaleur dans l'arc

La répartition de la chaleur dans l'arc influence les résultats du soudage, notamment la profondeur de pénétration de la soudure. La répartition de la chaleur dépend du type de courant produit par la soudeuse.

## Répartition de la chaleur avec le courant continu



Comme vous l'avez vu précédemment, un arc est un milieu gazeux conducteur de courant. Le courant dans l'arc est conduit par les électrons du pôle négatif au pôle positif et par les ions dans la direction inverse, soit du pôle positif au pôle négatif. Les électrons, qui ont une faible masse, sont accélérés rapidement par la tension de l'arc et produisent un échauffement intense de la surface qu'ils frappent, soit le pôle positif. Les ions, qui ont une masse beaucoup plus grande que les électrons, frappent la surface du pôle négatif avec une moins grande vitesse et l'échauffent moins. Pour cette raison, dans le cas du soudage en courant continu, le pôle positif dégage environ les deux tiers de la chaleur et le pôle négatif, environ le tiers.

La polarité utilisée avec le courant continu influence le résultat du soudage. Il peut être préférable d'utiliser la polarité normale ou inversée selon le procédé de soudage employé.

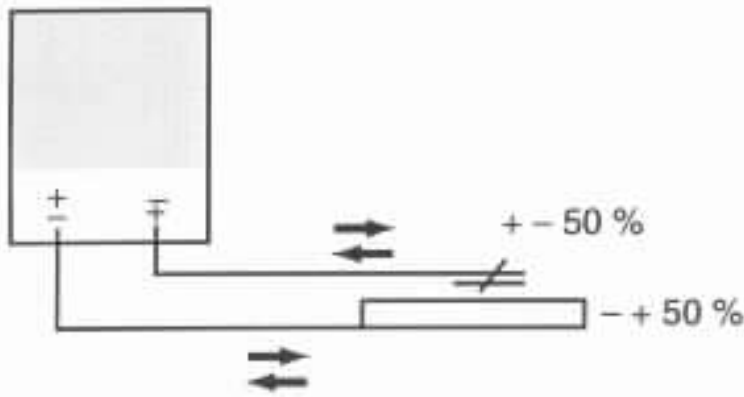
## Procédé SMAW

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée polarité inversée permet d'obtenir une meilleure pénétration de la soudure. En effet, lorsqu'on soude avec une électrode enrobée, la température élevée des gouttes de métal fondu frappant la pièce à souder a plus d'influence que l'effet d'échauffement des électrons seuls. C'est pourquoi on peut observer une pénétration plus profonde dans le métal de base quand l'électrode est branchée au pôle positif. En effet, dans ce cas, les électrons réchauffent davantage le bout de l'électrode, ce qui produit des gouttes de métal plus chaudes que lors du soudage avec polarité normale. De plus, le taux de fusion obtenu avec la polarité inversée est légèrement plus élevé qu'avec la polarité normale, ce qui permet d'effectuer le travail de soudage plus rapidement.

## Procédé GTAW

À l'inverse du procédé SMAW, on utilise généralement la polarité normale pour souder à l'aide du procédé GTAW. Dans le cas du soudage GTAW, on utilise une électrode de tungstène pour amorcer un arc sur la pièce à souder. Cette électrode ne doit pas fondre comme l'électrode enrobée. En branchant l'électrode au pôle négatif, on obtient les deux effets voulus, soit la pénétration et la préservation de l'électrode. En effet, le pôle négatif étant le moins chauffé, l'électrode peut supporter une intensité de courant plus élevée sans fondre. Comme dans ce procédé, seul l'arc sert à chauffer la pièce à souder, puisqu'il n'y a pas de métal d'apport qui traverse l'arc, la pénétration est plus forte que si l'électrode était reliée au pôle positif.

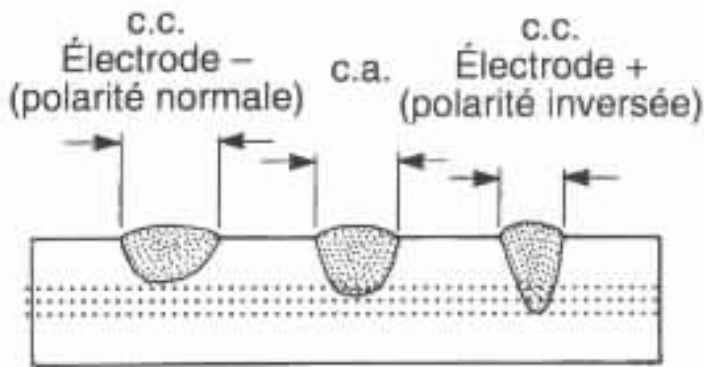
## Répartition de la chaleur avec le courant alternatif



### Arc en courant alternatif

Le courant alternatif permet de produire approximativement la même quantité de chaleur à chacune des bornes du circuit, puisque celles-ci sont tour à tour positives et négatives.

### Influence du courant et de la polarité utilisés (procédé SMAW)



La pénétration obtenue avec le courant alternatif se trouve à mi-chemin entre celle obtenue avec la polarité négative et celle obtenue avec la polarité positive.

Toutefois, puisque le courant et la tension deviennent nuls à chaque inversion du sens du courant, l'arc s'éteint à chaque  $1/120$  de seconde. Il faut alors utiliser des moyens spécifiques pour stabiliser l'arc. Ceux-ci seront exposés dans les modules traitant des divers procédés de soudage dans lesquels ce type de courant est utilisé.

### Caractéristiques des procédés de soudage

Le choix d'une soudeuse dépend des caractéristiques du procédé de soudage utilisé. Bien que les soudeuses à caractéristique tombante conviennent à tous les procédés, il est parfois préférable de choisir un poste de soudage à caractéristique horizontale.

### Caractéristique tombante (soudeuses à courant constant)

Avec les soudeuses à courant constant, une grande variation de la longueur d'arc, représentée par un grand changement de tension sur la courbe, n'influence pas beaucoup l'intensité du courant. Ce genre de soudeuse convient très bien aux procédés manuels tels que:

- le soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW);
- le soudage à l'arc avec électrode réfractaire sous protection gazeuse (GTAW);
- le soudage plasma (PAW).

On peut aussi utiliser ces soudeuses avec les procédés semi-automatiques (GMAW, FCAW) et automatiques (SAW) à la condition d'employer des dévidoirs appropriés.

## Procédé SMAW

Lors de l'application du procédé de soudage SMAW, le soudeur tient dans sa main un porte-électrode auquel est fixée l'électrode enrobée qu'il doit utiliser. Pour réaliser une soudure de qualité, le soudeur doit maintenir des conditions de fonctionnement aussi constantes que possible. Pour ce faire, il doit:

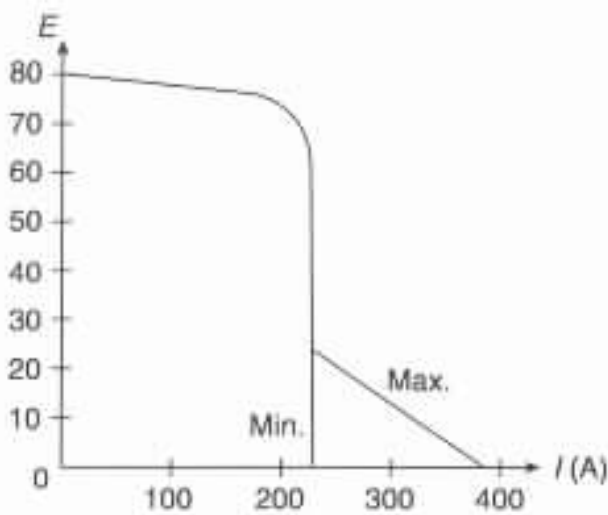
- incliner l'électrode à un angle de travail approprié;
- maintenir un angle approprié durant le soudage;
- souder à une vitesse constante;
- rapprocher le porte-électrode de la pièce à souder à mesure que l'électrode fond.

Comme vous l'avez vu, c'est le courant qui, en circulant dans la matière et dans l'arc, produit la chaleur nécessaire pour fondre l'électrode et la pièce à souder. En utilisant une soudeuse à courant constant, on obtient une vitesse de fusion (on dit « taux de fusion ») constante. Cela permet au soudeur, même s'il ne maintient pas une longueur d'arc parfaitement constante, de trouver une vitesse moyenne de descente de l'électrode, ce qui lui permet de produire une soudure correcte.

Les soudeuses de ce type ne maintiennent généralement pas un courant parfaitement constant. En effet, quand l'arc s'allonge, le courant diminue légèrement, alors que l'inverse se produit quand l'arc raccourcit. Cela est avantageux pour le soudeur.

Dans le premier cas, le taux de fusion diminue légèrement, ce qui permet au soudeur de réagir assez rapidement pour rapprocher le porte-électrode de la pièce afin d'obtenir la longueur d'arc voulue, avant que l'arc ait eu le temps de trop s'allonger. Dans le deuxième cas, le taux de fusion augmente légèrement, ce qui diminue le risque que l'électrode colle à la pièce à souder.

## Courbe tension-intensité avec réglage de pente



Les nouvelles soudeuses à commande électronique ont souvent une courbe caractéristique presque verticale, c'est-à-dire que le courant est presque parfaitement constant. Le soudeur ne peut donc plus profiter des avantages que l'on vient de mentionner. Les fabricants de ces soudeuses fournissent la plupart du temps un dispositif de réglage de la pente de la courbe dans la partie basse tension sous 25 V environ. Ce « contrôle d'arc » peut être indiqué par les expressions « arc force », « arc control », ou parfois « dig ». La courbe tension-intensité d'une soudeuse à courant constant dont le réglage de pente est au maximum.

## Procédés GTAW et PAW

Dans le cas des procédés de soudage à l'arc avec électrode réfractaire (GTAW et PAW), la torche de soudage joue essentiellement un rôle de source de chaleur. Pour l'application de ces procédés, la source de chaleur doit être constante. En utilisant une soudeuse à courant constant, la chaleur de l'arc demeure plus ou moins constante, même si le soudeur ne maintient pas une longueur d'arc parfaitement uniforme.

Dans le cas de ces procédés de soudage, contrairement au procédé SMAW, les soudeuses à commande électronique qui fournissent un courant parfaitement constant sont idéales.



Si la soudeuse possède un « contrôle d'arc », placez-le à une position faible (entre 3 et 5 pour une échelle de 1 à 10) afin d'obtenir un courant aussi constant que possible.

Les soudeuses conçues spécialement pour le procédé GTAW offrent généralement la possibilité d'utiliser du courant alternatif ou du courant continu. En effet, le courant alternatif permet de souder certains métaux comme l'aluminium et le magnésium, alors que le courant continu est beaucoup plus efficace pour souder la plupart des autres métaux.

## Caractéristique horizontale (soudeuses à potentiel constant)

Contrairement aux soudeuses à courant constant, les soudeuses à potentiel constant produisent une grande variation de l'intensité du courant pour une petite variation de tension. Ces soudeuses conviennent très bien aux procédés suivants:

- soudage à l'arc avec fil solide sous protection gazeuse (GMAW);
- soudage à l'arc avec fil tubulaire (FCAW);

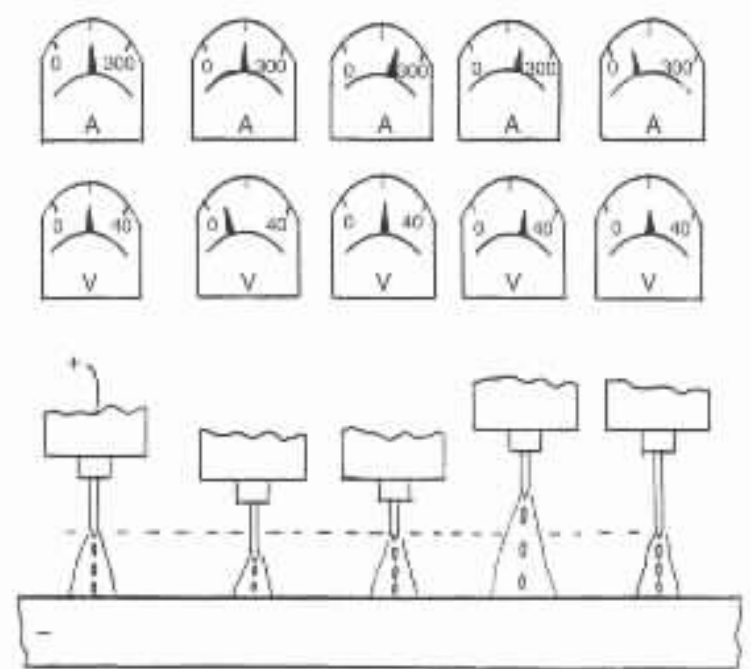
- soudage à l'arc submergé (SAW).

Tous ces procédés utilisent un fil continu comme électrode. Celui-ci est dévidé rapidement dans l'arc par un mécanisme automatique. Ce mécanisme maintient une vitesse d'arrivée constante du fil-électrode.

La vitesse d'arrivée du fil-électrode dans l'arc est très rapide. Elle peut varier de 2500 à 25 000 mm/min. À ces vitesses, il est pratiquement impossible de maintenir une longueur d'arc constante, car il faudrait que la position de la main par rapport à la plaque soit parfaitement constante.

Une courbe horizontale normale présente une légère pente vers la droite, c'est-à-dire que la tension baisse légèrement lorsque l'intensité du courant augmente.

Les soudeuses à tension constante permettent de régler automatiquement l'intensité du courant, maintenant ainsi la longueur de l'arc à peu près constante. Si l'arc s'allonge, l'intensité du courant produit par la soudeuse diminue, entraînant une augmentation de la tension de l'arc. À ce moment, le fil-électrode, qui porte moins de courant, fond plus lentement, mais sa vitesse de dévidage demeure constante. Ainsi, il avance plus rapidement dans l'arc qu'il ne fond et la longueur d'arc originale est vite retrouvée. À l'inverse, si l'arc raccourcit, l'intensité du courant augmente, causant une baisse de la tension de l'arc. On appelle cette façon de maintenir « automatiquement » la longueur d'arc l'« autorégulation ».



Caractéristiques des soudeuses selon les procédés

Type de production de courant	Type de relation tension-courant	Type de courant disponible	Procédés normalement associés

Source dynamique (tournante)	Courant constant	c.a.	SMAW
		c.c.	GTAW
		c.a. et c.c.	GMAW*
			FACW*
Source statique (transformateur)	Potentiel constant		SAW*
			GMAW
			FCAW
			SAW
Source statique (transformateur)	Courant constant	c.a.	SMAW
		c.c.	GTAW
		c.a. et c.c.	GMAW*
			FCAW*
Source statique (transformateur)	Potentiel constant		SAW*
			GMAW
			FCAW
			SAW

## Facteurs influençant le choix d'un poste de soudage

Comme vous avez pu le constater dans ce chapitre, il existe une grande variété de soudeuses, adaptées à différents besoins. Voici les principaux facteurs qui déterminent le choix d'une soudeuse.

### Lieu du travail de soudage

On doit tenir compte des sources de courant disponibles pour produire le courant de soudage. Ainsi, si le soudage s'effectue à l'extérieur, dans un endroit sans prise électrique, on doit utiliser une génératrice.

### Type de travail de soudage



La soudeuse doit être appropriée au travail de soudage à effectuer et au procédé utilisé, par exemple:

- travaux généraux à l'aide du procédé SMAW;
- soudage de grande précision à l'aide du procédé GTAW;
- soudage à grande vitesse à l'aide du procédé GMAW.

## Type de courant

La soudeuse peut utiliser le courant alternatif ou le courant continu à polarité normale ou inversée. Certaines soudeuses permettent de produire ces deux types de courants.

## Capacité de la soudeuse

La soudeuse doit être assez puissante pour accomplir le travail de soudage. La plaque signalétique d'une soudeuse indique ses paramètres de fonctionnement, soit:

l'intensité;

la tension;

le facteur de marche.

## Caractéristique requise par le procédé de soudage

La soudeuse peut être à caractéristique tombante ou horizontale. Généralement, la caractéristique tombante peut convenir à tous les procédés de soudage. Les soudeuses à caractéristique horizontale ne conviennent pas aux procédés manuels tel le procédé SMAW.

## Résumé

Les sources de courant peuvent être dynamiques; (génératrices et alternateurs) ou statiques (transformateurs)

Les soudeuses peuvent produire un courant constant (courbe tension-intensité plongeante) ou un courant à potentiel constant (courbe tension-intensité horizontale).

Certaines soudeuses fournissent on courant; alternatif,0td'autres un courant continu et d'autres encore peuvent fournir ces deux types de courants.

Les soudeuses à courant continu peuvent être considérées, de manière générale, préférables à celles à courant alternatif à cause de la très grande stabilité de l'arc qu'elle produisent.

Pour transformer le courant du réseau de distribution en courant de soudage, on utilise un transformateur.

L'intensité de courant et la tension de l'arc électrique doivent correspondre à un point de la courbe caractéristique de la soudeuse.

Plus un arc est long, plus sa tension est élevée.

L'arc libre est évasé; par conséquent, la chaleur est plus concentrée en son centre que vers les parties extérieures. Le procédé SMAW produit un arc libre qui limite la profondeur de pénétration et peut causer une déformation angulaire de la pièce à souder.

L'arc plasma a une forme de colonne très brillante. La chaleur y est distribuée de manière presque uniforme. Il offre une meilleure pénétration et des côtés plus droits que ceux produits par le soudage à l'arc libre.

En soudage en courant continu, le pôle positif produit environ 70 % de la chaleur et le pôle négatif, environ 30 %.

Le procédé SMAW produit une meilleure pénétration et permet une plus grande vitesse de soudage avec un courant continu avec polarité inversée (CCPI).

Le courant continu avec polarité normale (CCPN) convient au procédé GTAW, car il empêche l'électrode de fondre.

Le soudage avec un courant alternatif produit la même quantité de chaleur à chacune des bornes du circuit.

On doit utiliser les soudeuses à caractéristique tombante avec les procédés manuels tels que les procédés SMAW, GTAW et PAW.

Les soudeuses à caractéristique horizontale sont conçues pour les procédés automatiques et semi-automatiques! tels que les procédés GMAW, FCAW et SAW. Le choix d'une soudeuse s'effectue principalement en tenant compte des facteurs suivants:

l'emplacement;

le type de travail à effectuer;

le type de courant utilisé;

la courbe caractéristique requise par le procédé de soudage (plongante ou horizontale);

la capacité de la soudeuse.

---

**Voir aussi "SMAW et accessoire"**

**Voir aussi "SMAW électrode enrobée"**

## **Centre de Formation en Métallurgie et**

**Multiservices**



**847, Georges-Vanier, arrondissement Chicoutimi, Saguenay, Québec.  
G7H4M1**

**Téléphone: (418)-698-5170, jour: poste 2227**

**Télécopieur: (418)-698-5307      Courriel: [centre.metallurgie@csrsaguenay.qc.ca](mailto:centre.metallurgie@csrsaguenay.qc.ca).**

**21/09/04 16:34:01**

**RB/rb**

( [Accueil](#)) ( [Informations générales](#)) ( [Soudage-montage](#)) ( [Soudage haute pression](#)) ( [Ferblanterie-tôlerie](#))  
( [Centre de soutien à l'entrepreneuriat](#)) ( [Liens](#)) ( [Courriels](#))

J-DF nov. 2004