

Chapitre IV : Soudage

1. Généralités sur le soudage

1.1. Définition

Le soudage est l'opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage de façon permanente, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler, avec ou sans emploi d'un produit d'apport.

Les soudures sont dites :

Hétérogènes : Le métal qui compose le joint est de nature différente des pièces à souder

Autogènes : Le métal qui compose le joint est de même nature que les pièces à souder

1.2. Les procédés de soudage

On estime qu'il y a une quarantaine ou une cinquantaine de procédés de soudage au total. La figure 1 présente un organigramme des procédés de soudage les plus répandus.

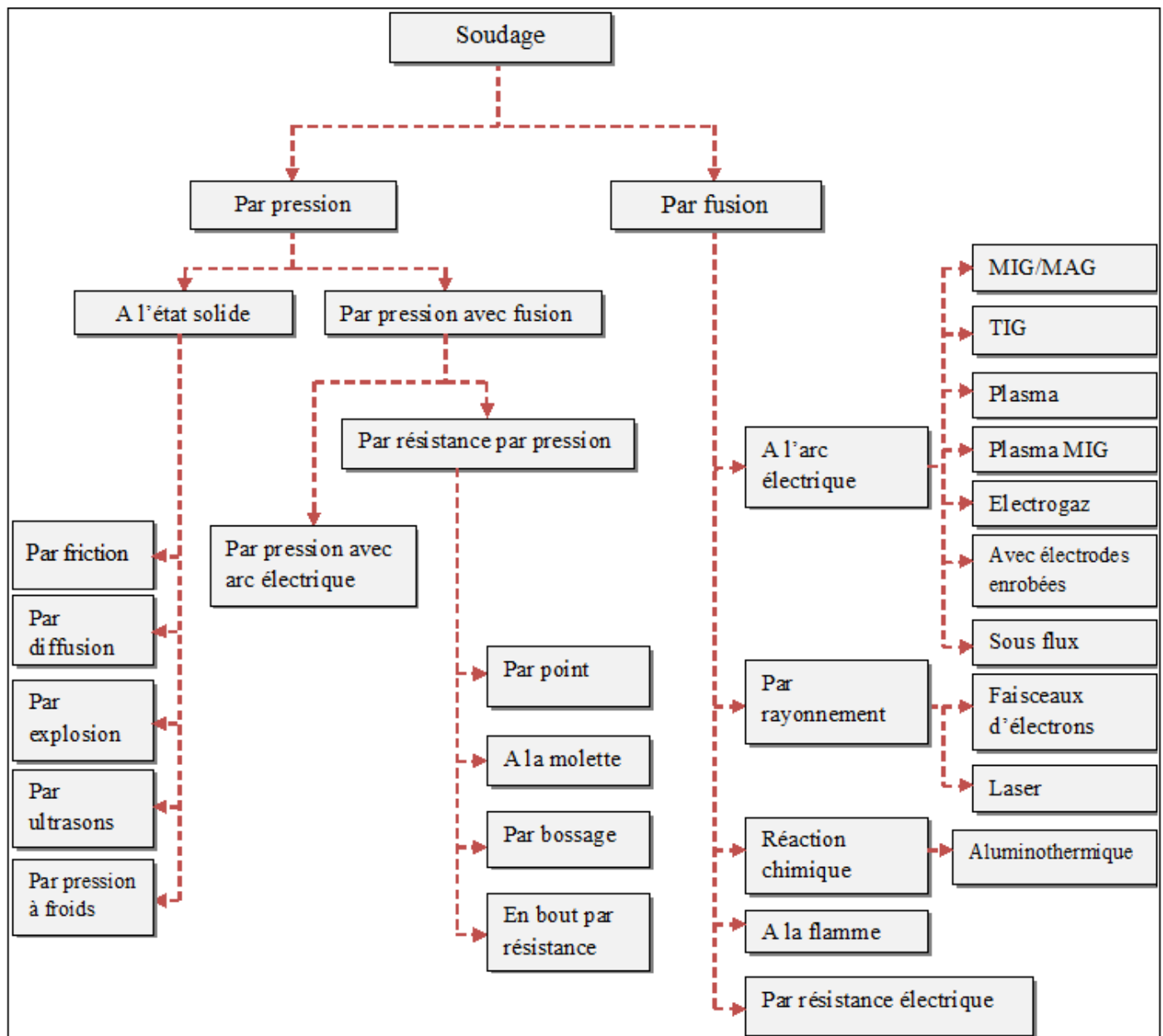


Figure 1. Organigramme des procédés de soudage les plus répandus.

2. Principaux procédés de soudage

2.1. Le soudage au gaz (au chalumeau)

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur de soudure est produite par la combustion de gaz (figure 2). La composition oxygène-acétylène (oxyacétylénique) est aujourd'hui presque exclusivement employée. L'emploi de flux décapants permet de combattre l'oxydation en cours de soudage. Ce procédé se subdivise comme suit :

- Sans flamme auxiliaire.
- Avec flamme auxiliaire réductrice.

Flamme oxyacétylénique résultant de la combustion d'un volume d'acétylène (gaz combustible) pour deux volumes et demi d'oxygène (comburant)

On notera qu'une trop forte proportion d'oxygène entraîne une chaleur plus importante mais le risque d'oxydation augmente. Son aspect économique et sa rapidité d'exécution font que ce procédé est beaucoup employé par les artisans.

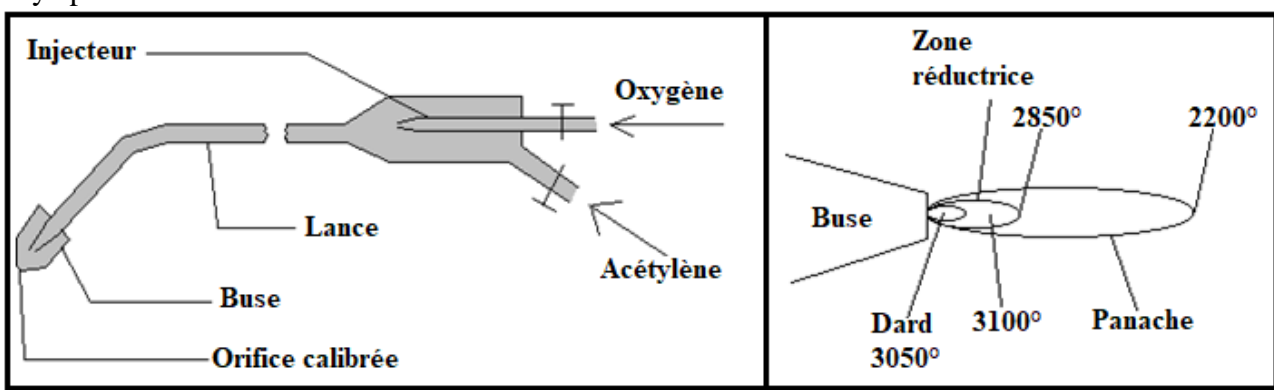


Figure 2. Schéma d'un chalumeau soudeur

2.2. Le soudage à l'arc

Soudage à l'arc électrique La fusion du métal d'apport et des pièces à assembler est obtenue par un arc électrique jaillissant entre une électrode et les pièces à assembler. La fusion très localisée amène moins de déformation que la fusion au chalumeau. Cependant le refroidissement rapide entraîne l'apparition de contraintes internes et de déformations qu'il est parfois difficile de corriger. C'est ce procédé qui est le plus utilisé industriellement en soudage autogène.

2.2.1. Soudage à arc à l'électrode enrobée

Le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée est relativement simple. Un poste à souder, généralement à courant constant, est connecté à une électrode enrobée et à une pièce de métal à souder, ce qui provoque la création d'un arc électrique, libérant l'énergie nécessaire pour fondre le métal d'apport (contenu dans l'électrode) sur le métal à souder. Le flux recouvrant l'électrode sert à protéger le bain de fusion de la contamination atmosphérique

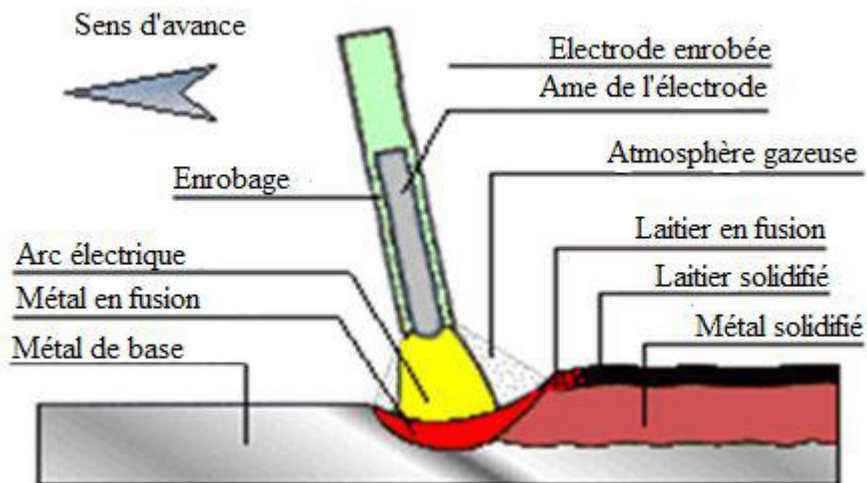


Figure 3. Soudage à arc à l'électrode enrobée

2.2.2. Soudage MIG (Metal Inert Gas)

On utilise une électrode fusible travaillant en atmosphère inerte afin de protéger le bain de fusion de l'air ambiant. L'électrode est un fil qui se déroule automatiquement. Le gaz protecteur est généralement de l'argon ou de l'argon plus de l'hélium. Ce procédé convient pour :

- * Le soudage à plat et en position pour l'aluminium et les alliages légers.
- * Le soudage à plat des tôles d'acier d'épaisseur supérieure à 3 mm.

2.2.3. Soudage MAG (Metal Activ Gas)

Variante du MIG utilisant un mélange de gaz carbonique CO₂ et d'argon adapté au soudage des aciers de construction au carbone. Ce procédé est uniquement utilisé pour le soudage des aciers faiblement alliés ou non

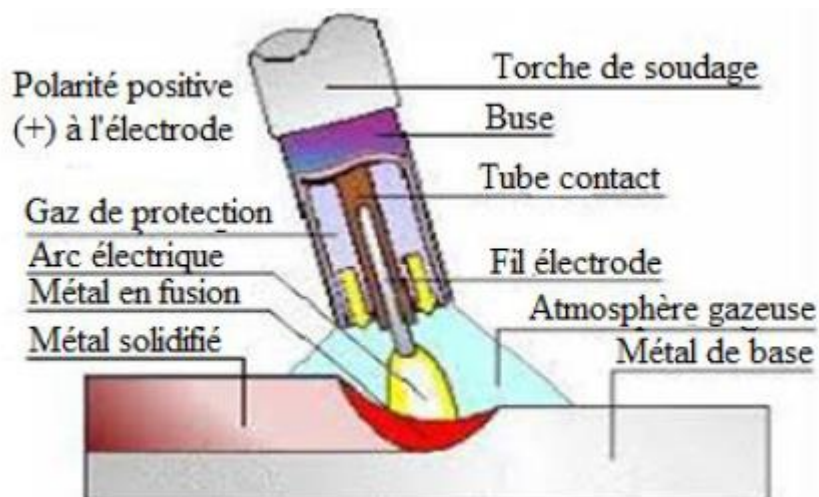


Figure 4. Soudage MAG/MIG

2.2.4. Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas)

Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas) utilise une électrode non consommable constituée d'une pointe de tungstène (de Ø 1,0 mm à Ø 8,0 mm) portée par une torche dotée d'une arrivée annulaire de gaz inerte (Argon ou Argon + Hélium pour les procédés automatiques). Ce gaz protège l'arc électrique et le bain de fusion de l'atmosphère externe durant le soudage. Ce procédé est très utilisé dans l'industrie, car son procédé

de fusion entraîne moins de déformations que le chalumeau. Il est employé dans la construction mécano-soudée, la chaudronnerie, les charpentes métalliques, les chantiers navales, l'industrie automobile, le nucléaire, l'aérospatiale.

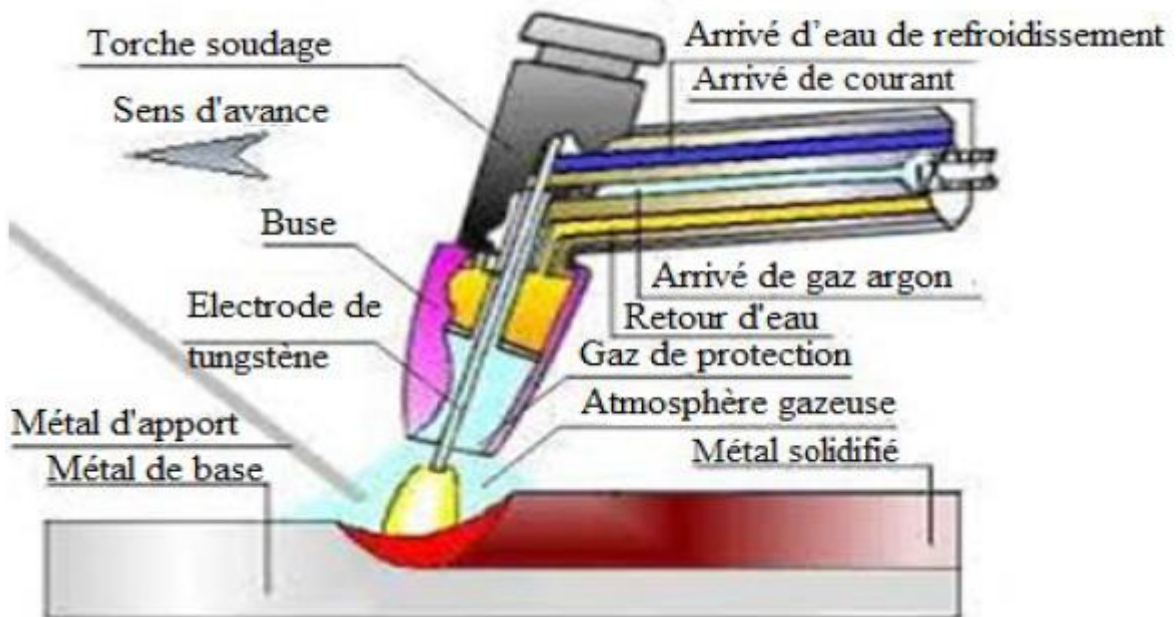


Figure 5. Procédé de soudage TIG (avec sa torche) [

2.3. Le soudage par résistance

Les pièces à assembler sont maintenues en contact par un effort de compression puis soudées par recouvrement ou bout à bout sans métal d'apport. La fusion est provoquée par effet Joule : courant de forte intensité ($I > 2000 \text{ A}$) sous basse tension. Après coupure du courant, l'effort de compression « forge » la soudure.

De nombreux procédés de soudure par résistance existent, nous allons voir le plus caractéristiques :

* **le soudage par points** : Très utilisé en grande et petite série, rapide, il est réalisé entre deux électrodes.

La fusion se produit à la frontière entre les deux pièces à souder (figure 6).

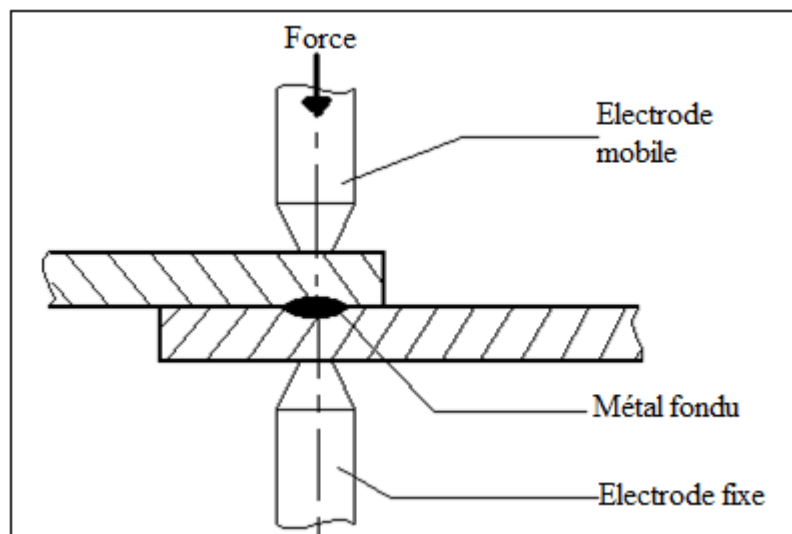


Figure 6. Principe du soudage par points

* **le soudage par molette** : qui est une variante du précédent, ici les électrodes sont remplacées par des molettes tournantes ce qui permet un soudage continu ou discontinu très rapide (figure 7).

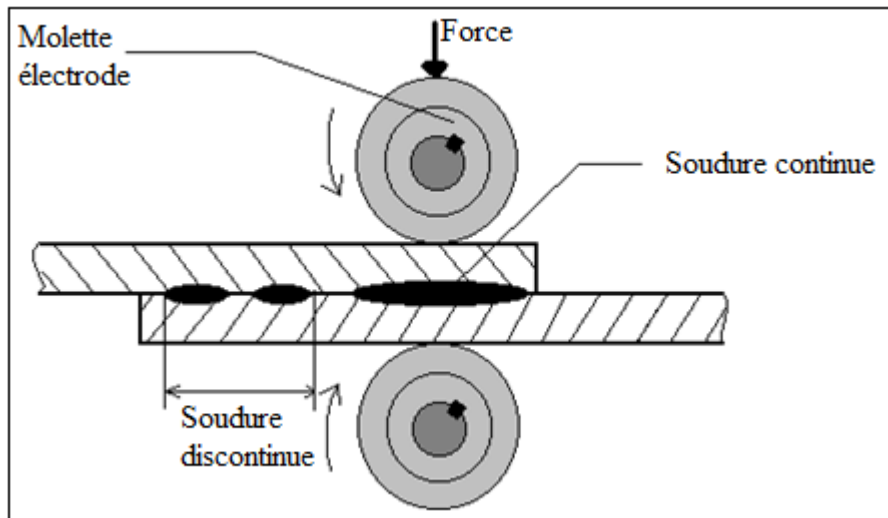


Figure 6. Principe du soudage par molette

Ce procédé est très utilisé en grande et petite série, il est aussi très rapide. Il est utilisé dans de très nombreux domaines : l'industrie automobile, aéronautique, aérospatiale, nucléaire, électrique et électronique, les appareils ménagers, le mobilier métalliques, les armatures en fils, le soudage en bout de barre, de profilés, de pièces tubulaires, de tôles, etc..

2.4. Le soudage par friction

Une des deux pièces à assembler est entraînée en rotation (fig. 7.1). Les deux pièces sont mises en contact par un effort axial déterminé (fig. 7.2). Par frottement les pièces s'échauffent de part et d'autre du plan de joint ($V = 100 \text{ m/min}$). Un bourrelet commence à se former (fig. 7.3). Après un brusque arrêt de la pièce en rotation, l'effort axial est augmenté (fig. 7.4). C'est la phase de forgeage de la soudure qui se traduit par la formation d'un bourrelet très caractéristique. On élimine ensuite ce bourrelet par usinage. On notera qu'il est préférable de souder deux pièces de même section. Ce procédé est utilisé dans les mécanismes nécessitant une grande résistance (arbres de boîtes de vitesses, leviers sur axes, goujons sur moyeu de poids lourds, rallonges de forêts, queues de soupapes...).

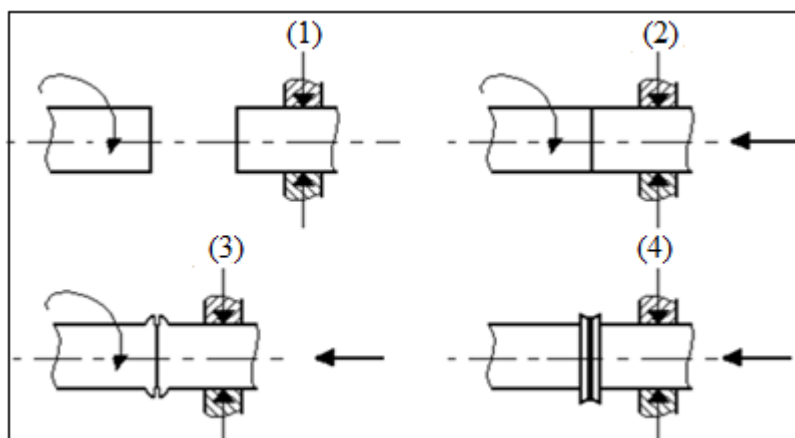


Figure 7. Différentes étapes du soudage par friction

2.5. Soudage par friction-malaxage

Le soudage par friction malaxage, présenté sur la (figure 8), un outil en rotation génère un flux de chaleur grâce à la friction de celui-ci avec les matériaux à assembler. L'outil est muni d'un épaulement et d'un pion qui permet de malaxer et drainer les métaux. Une pression est exercée pour que la puissance totale mécanique soit suffisamment grande. Cette puissance se transforme en chaleur et élève la température des matériaux, d'une part grâce à la friction et, d'autre part, grâce aux déformations plastiques subies par ceux-ci. L'outil est incliné d'un angle de 0.5 à 5 par rapport à la verticale

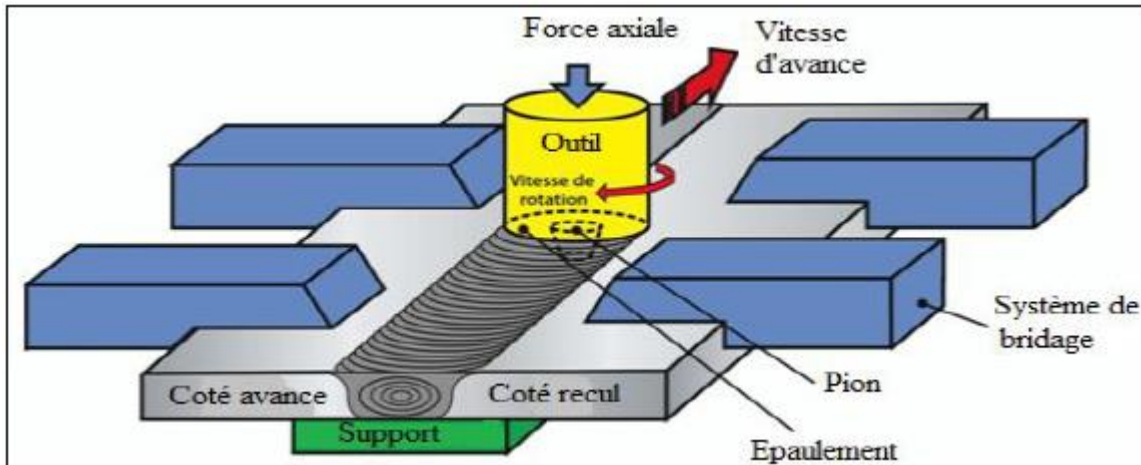


Figure 8. Schéma montrant l'outillage en soudage par friction malaxage

2.6. Soudage par explosion

Cette technique découverte fortuitement en 1957 lors d'essais de formage par explosion, est essentiellement employée pour assembler des métaux de nature différente, par exemple de l'aluminium sur de l'acier. Généralement, il s'agit de profilés pré-soudés qui permettent ces assemblages (exemple: superstructures en aluminium sur un bateau à coque en acier dans le but d'abaisser le centre de gravité). Les métaux à assembler sont superposés selon un certain angle et recouverts d'une couche uniforme d'explosif, la combustion rapide (détonation) de celui-ci provoque une fusion en coin qui se propage sur toute la surface mêlant les deux métaux (figure 9).

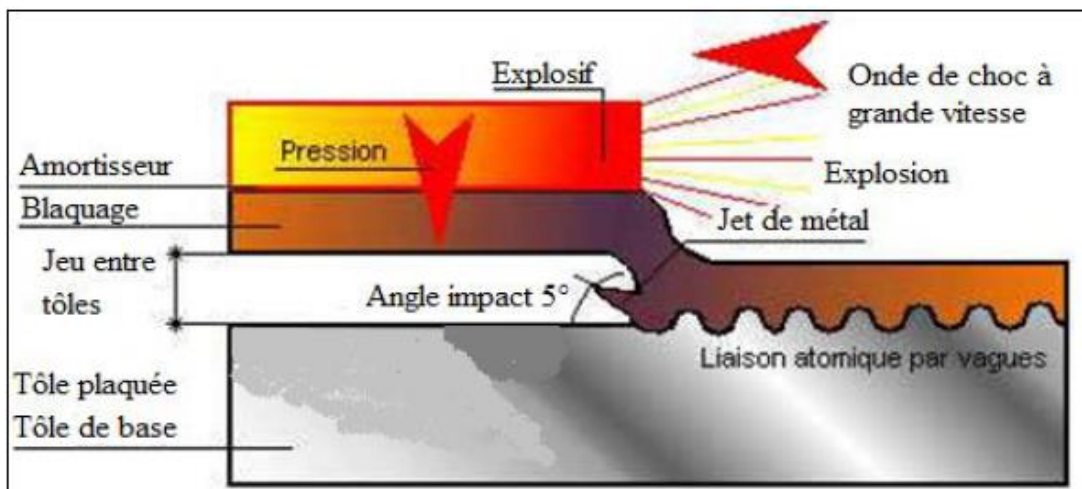


Figure 9. Soudage par explosion

2.7. Soudage par ultrason

Les ultrasons sont des ondes acoustiques de hautes fréquences (20 à 50kHz) qui transmises à un matériau le font vibrer. Il s'agit d'un procédé de soudage à froid en phase solide où les atomes des surfaces à assembler se combinent entre eux sous l'effet de forces d'attraction interatomique. Le transducteur génère des vibrations ultrasoniques qui sont transmises par un transformateur de vitesse amplificateur à une "sonotrode". Les pièces à souder, serrées entre une « enclume » et la « sonotrode », subissent des déformations localisées en qui rompent les pellicules superficielles des zones de contact (figure 10). L'interpénétration des surfaces de contact s'ensuit. Sous l'effet du frottement à l'interface, la température s'élève, la zone de déformation s'étend et le soudage se produit. Ce procédé est surtout destiné aux pièces de faibles épaisseurs (< 2 mm). Il est à rapprocher dans son mécanisme au soudage par friction

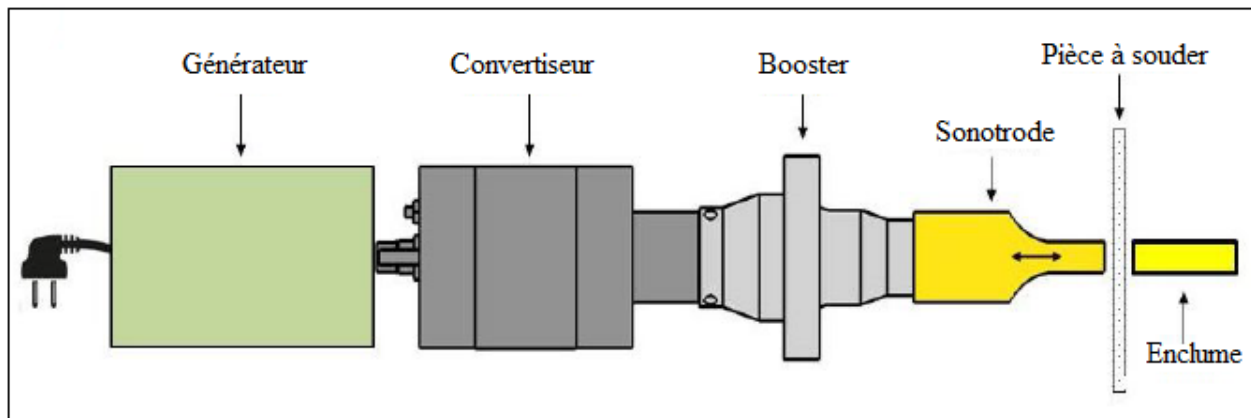


Figure 10. Schéma du soudage par ultrasons

2.8. Le soudage au fer

Ce procédé de soudage est employé majoritairement dans l'industrie électronique pour les petites soudures. On utilise un fer qui fait office de résistance ce qui produit la chaleur nécessaire à la fusion du métal d'apport souvent l'étain (figure 11).

Ce soudage n'est employé que dans l'électronique pour le soudage de composants, il est employé aussi bien dans l'industrie (soudage à la vague) que par les artisans (manuellement).

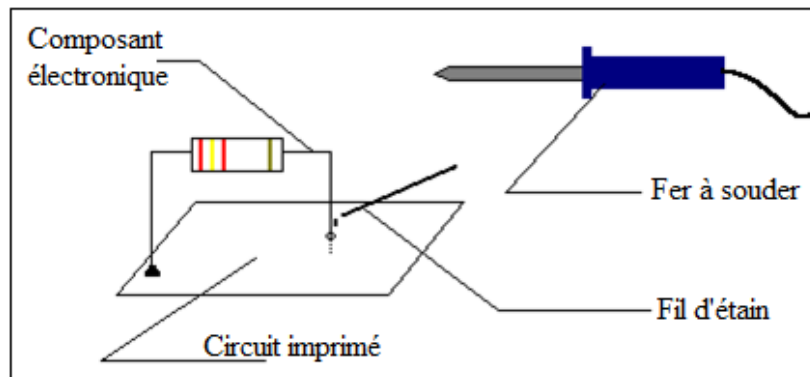


Figure 8. Soudage au fer