

## 4. LE SOUDAGE

### 4.1. Généralités

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, car il permet d'adapter au mieux, les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

Le soudage est une opération qui consiste à assurer la liaison permanente de deux ou plusieurs parties constitutives de nature identique ou différente, soit par chauffage, soit par pression, soit par l'action simultanée des deux, de la chaleur et de la pression. Le soudage peut être effectué avec ou sans métal d'apport.

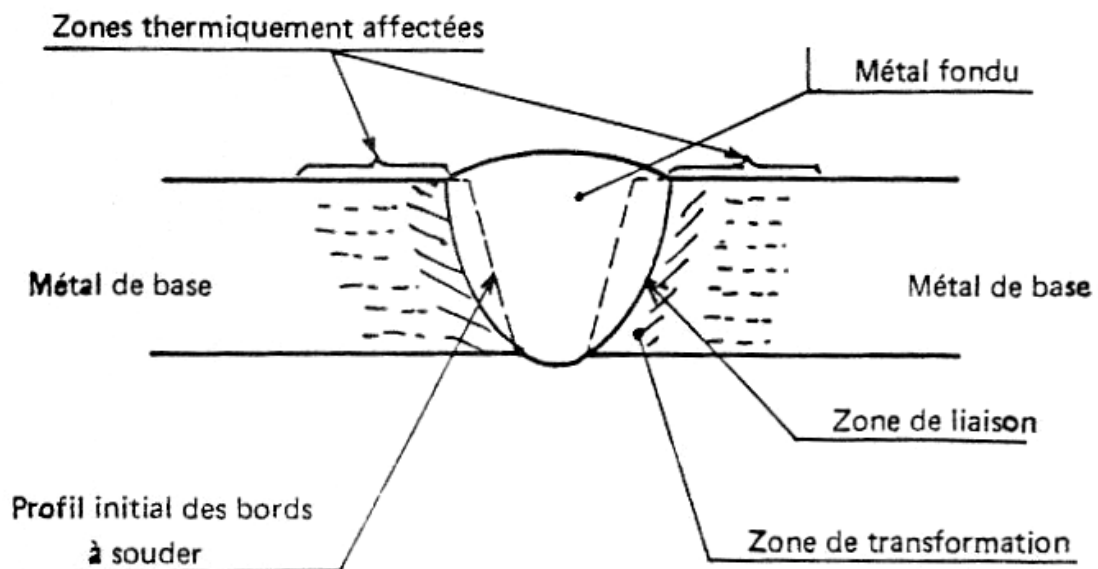
Dans le cas particulièrement important des matériaux métalliques, le soudage se présente sous deux aspects :

#### a. Le soudage automatique :

Lorsque le métal d'apport et le métal de base sont de nature identique. Dans ce procédé, le métal des pièces à assembler participe à la constitution du joint au même titre que le métal d'apport. Donc c'est une opération de "fusion localisée" de deux pièces de même nature. Le métal de base se dilue dans le métal d'apport.

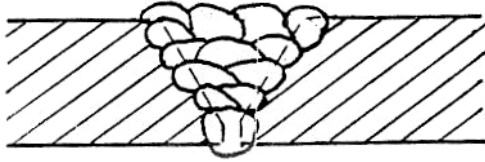
La température de soudage est donc nécessairement supérieure à la température de fusion des pièces à assembler. Les figures 227, 228 et 229 représentent des types de soudures autogènes.

#### Soudure autogène bout à bout sur chanfrein en V :



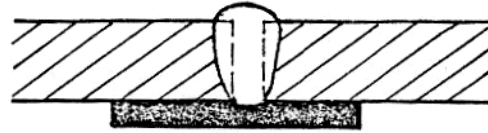
(fig. 227)

Soudure autogène multipasse sur chanfrein avec talon



(fig. 228)

Soudure autogène sur bords droits avec support à l'envers



(fig. 229)

**b. Le soudage hétérogène :**

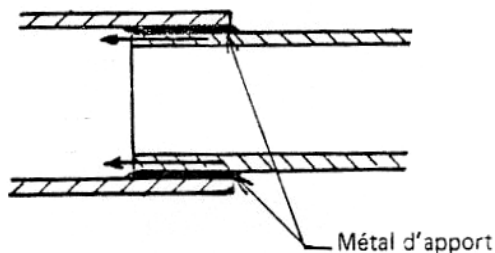
Le soudage est hétérogène lorsque le métal de base et le métal d'apport sont de nature différente. Dans ce procédé, les pièces à assembler ne sont pas portées à la température de fusion et ne participent pas à la constitution du joint. Ce rôle est uniquement rempli par le métal d'apport, dont la température de fusion est plus basse et qui assure, en se solidifiant, une liaison métallique entre les surfaces à assembler.

Dans ce procédé on distingue :

- **Le brasage fort** : température de fusion du métal > 450°C, avec utilisation du décapant Borax.
- **Le brasage tendre** : température de fusion du métal < 450°C, avec utilisation du décapant Borax.
- **Le soudo-brasage** : réalisé généralement au chalumeau. La température à obtenir varie suivant les métaux à souder :
  - Acier et fonte : 600 à 900°C.
  - Cuivre : 850 à 900°C.
  - Aluminium 600°C

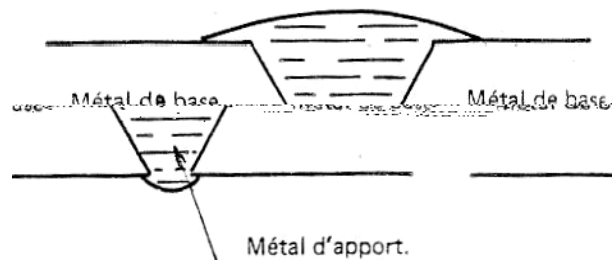
Les figures 230 et 231 montrent deux types de soudures hétérogènes.

Soudure hétérogène  
Brasure sur tubes.



(fig. 230)

Soudure hétérogène  
Soudobrasure



(fig. 231)

Le soudo-brasage et le brasage s'appliquent lorsque :

- Les métaux de base ne sont pas soudables, par exemple : les aciers à outils.
- Les joints sont difficiles à exécuter (faibles dimensions des pièces à souder).
- Les métaux de base sont différents.
- Il n'est pas impératif de conserver les propriétés mécaniques des métaux de base.

Les définitions générales s'appliquent à un grand nombre de matériaux. On soude les métaux, mais on soude aussi le verre, les matières plastiques etc. Par définition même, le soudage s'oppose à d'autres opérations d'assemblage qui n'assurent pas la continuité de la matière entre les parties à assembler, qu'il y ait discontinuité géométrique, comme dans le rivetage, le sertissage, le boulonnage, etc., ou qu'il y ait discontinuité de nature chimique comme dans le collage.

Les avantages techniques et économiques du soudage sont :

- a. Les assemblages soudés présentent une résistance élevée par rapport à d'autres types d'assemblages.
- b. Le soudage est très souvent employé en combinaison avec le moulage, forgeage, estampage etc., ce qui permet d'obtenir des pièces d'une forme très compliquées et dont les dimensions sont très grandes.
- c. Haute productivité, bas prix de revient avec possibilité d'obtention des assemblages étanches.
- d. Diminution des dépenses initiales des équipements des ateliers de soudage.

## **4.2. Classification générale des procédés de soudage**

Il existe plusieurs procédés de soudage caractérisés par le type de source d'énergie pour l'échauffement et par l'état du métal à l'endroit du soudage.

### **4.2.1. Selon la source d'énergie**

Selon le type de la source d'énergie on distingue les énergies du type :

- Energie thermoélectrique.
- Energie thermochimique.
- Energie mécanique.
- Energie de focalisation.

Les sources d'énergie doivent être capables d'apporter, en un temps assez court, une grande quantité de chaleur en un point bien localisé. De gros progrès technologiques sont venus apporter une solution à ce problème au début du siècle, tout d'abord par l'emploi de la flamme oxyacétylénique puis de l'arc électrique. La classification des procédés de soudage en fonction des sources d'énergie se présente comme suit :

#### **a. Energie électrique :**

- Soudage à l'arc électrique sans protection gazeuse :
  - Avec électrode fusible (M.I.G).

- Avec électrode réfractaire (T.I.G).
- Soudage à l'arc électrique sous flux solide avec électrode fusible.
- Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée.
- Soudage au plasma d'arc.
- Soudage à l'hydrogène atomique.
- Soudage par résistance électrique:
  - Par recouvrement :
    - Sur bossage.
    - A la molette.
    - Par point.
  - En bout ou en T :
    - Par étincelage.
    - Par résistance pure.
- Soudage par induction.
- Soudage par fer à souder ou plaque chauffante pour brasages tendres.

**b. Energie chimique :**

- Soudage à la flamme, spécifié par la nature de la flamme. Ex. : soudage oxyacétylénique.
- Soudage par réaction exothermique. Ex. : Aluminothermie.
- Soudage avec lampe à souder pour brasages tendres.

**c. Energie mécanique :**

- Soudage à la forge.
- Soudage par ultrasons.
- Soudage par friction.
- Soudage par pression.

**d. Energie focalisée :**

- Soudage au rayon laser.
- Soudage par bombardement électronique sous vide.

**4.2.2. Selon l'état du métal pendant le soudage**

Selon l'état du métal pendant et à l'endroit du soudage on distingue :

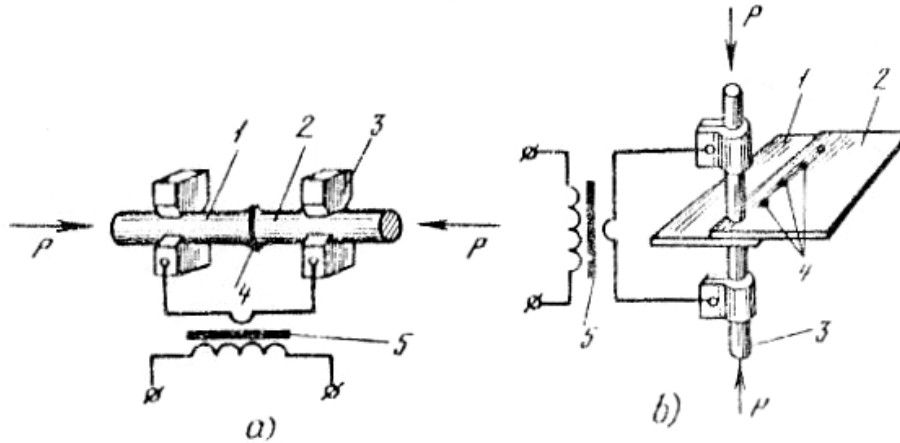
**a. Le soudage par fusion :**

Il consiste à porter à fusion les bords des pièces à souder à l'aide d'une source d'énergie tels que l'arc électrique, la flamme de gaz, la réaction chimique, l'énergie de rayons laser, le jet de plasma, etc.

Sous l'action de la chaleur les bords du métal sont fondus et établissent une liaison entre eux ou encore avec un métal d'apport, ainsi formant le bain de fusion, lequel après solidification constitue la soudure.

### b. Le Soudage par pression :

Le soudage par pression (fig. 232), regroupe tous les procédés de soudage dans lesquels on obtient une soudure en général sans métal d'apport, par application d'une pression suffisante pour obtenir une déformation plastique des zones à souder, un chauffage localisé permet la liaison atomique de la zone de soudage.



(fig. 232)

- a : Soudage en bout par résistance.
- b : Soudage par points par résistance.
- 1 et 2 : Pièces à souder.
- 3 : Electrodes en cuivre.
- 4 : Joint à souder
- 5 : Transformateur de soudage.
- P : Effort d'application

### 4.2.3. Description de divers procédés de soudage

Actuellement il existe plusieurs dizaines de procédés de soudage et parmi lesquels on peut citer :

#### 1. Soudage oxyacéthylnique :

La source d'énergie est la flamme oxyacéthylnique. Il est le seul procédé utilisé pour l'exécution des joints soudo-brasés ou brasés. Ce procédé présente une grande souplesse et il est recommandé pour l'exécution de travaux délicats sur pièces de nuances diverses et de petites dimensions.

#### 2. Soudage à l'arc électrique :

La source d'énergie est l'arc électrique qui jaillit entre le métal à souder et le métal d'apport qui est une électrode. Dans ce procédé on peut citer :

- a. **Soudage en atmosphère inerte (T.I.G) :** L'électrode est réfractaire (non fusible) et le bain de fusion est protégé par un gaz inerte comme l'argon ou autre. Ce procédé

se substitue de plus en plus au chalumeau pour le soudage des aciers alliés, de l'aluminium, du cuivre et de ses alliages, des alliages de nickel.

- b. Soudage avec électrode enrobée :** L'enrobage de l'électrode dépose sur le métal en fusion un laitier protecteur. Ce procédé a fait de très gros progrès depuis une trentaine d'années, grâce surtout aux nouvelles techniques de fabrication des électrodes. La rapidité d'exécution des soudures est importante et liée au fait que l'apport de chaleur est très localisé.
- c. Soudage avec fil électrode sous protection gazeuse (M.I.G) :** Ici le métal d'apport est constitué par un fil qui arrive en continu au niveau de l'arc électrique. Le bain de fusion est protégé par un gaz inerte. On peut souder avec ce procédé pratiquement tous les métaux à une grande vitesse de soudage.
- d. Soudage avec fil électrode sous flux en poudre :** Même procédé que le procédé M.I.G, seulement ici, la protection du bain se fait par un flux en poudre.

### **3. Soudage par résistance électrique :**

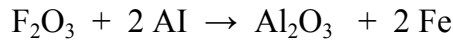
Le chauffage nécessaire à l'endroit du soudage est assuré par effet de Joule :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

L'intensité de soudage et le temps de passage de cette intensité jouent donc un grand rôle dans ce procédé, il est utilisé essentiellement pour assembler des pièces par recouvrement. Dans ce procédé on distingue :

- a. Soudage par points :** Les appareils de soudage sont constitués en principe de deux bras portant chacune une électrode. L'un de ces bras est mobile et vient pincer les pièces à souder.
- b. Soudage à la molette :** Utilise le même principe que le soudage par points, les électrodes se présentant sous forme de disques rotatifs.
- c. Soudage en bout par étincelage :** Ce procédé de soudage par résistance est essentiellement utilisé pour le reboutage des tubes. Les bords à souder sont rapprochés sous tension et des arcs s'amorcent successivement provoquant la fusion des bords. Le soudage a lieu alors par forgeage, les deux pièces à souder étant comprimées l'une contre l'autre.
- d. Soudage par induction :** La source d'énergie est ici le courant électrique induit dans les pièces à souder par l'application d'un champ magnétique intense et de haute fréquence.
- e. Soudage par friction :** Le principe est le suivant : une pièce est fixe, l'autre animée d'un mouvement de rotation et est appliquée contre la première. L'énergie thermique dégagée par le frottement permet d'atteindre la température de forgeage.

**f. Aluminothermie :** On utilise ici la chaleur dégagée par la réaction suivante :



Il faut amorcer la réaction soit avec de la poudre, soit avec une résistance électrique. Ce procédé est surtout utilisé pour le soudage des rails de chemin de fer.

**g. Soudage par ultra-sons :** Ce procédé utilise l'énergie de vibration produite par un appareil électroacoustique. Il est utilisé surtout dans l'industrie nucléaire et en électrotechnique pour les soudages des feuilles d'aluminium, de molybdène, de platine etc. Il est très employé pour assembler les matières plastiques.

### 4.3. Le soudage oxyacéthylnique

C'est vers la fin du siècle dernier et à la suite des travaux du français Georges Claude et de l'allemand Von Linde, que naquit l'idée d'utiliser la flamme pour chauffer localement des pièces jusqu'à leur point de fusion dont le principal but est de les assembler.

On peut obtenir cette flamme par la combustion d'un gaz combustible dans l'air. L'air étant composé de 4/5 d'azote qui ne participent pas à la combustion, on a donc cherché à utiliser un autre gaz comme carburant, l'oxygène. Donc la haute température (3000°C) de la flamme oxyacéthylnique est obtenue par la combustion d'un mélange d'acétylène et d'oxygène dans une proportion bien définie.

Le soudage oxyacéthylnique est caractérisé par des vitesses d'échauffement et de refroidissement du métal plus faibles en comparaison avec le soudage à l'arc électrique, ce qui conduit à la formation d'une structure à gros grains dans le métal adjacent au cordon de soudure, diminue la résistance du joint soudé et provoque des déformations importantes de la pièce soudée. Si l'épaisseur des tôles dépasse 2 mm, le soudage oxyacéthylnique devient moins rentable que celui de l'arc électrique.

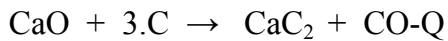
#### **L'oxygène (O<sub>2</sub>) :**

L'oxygène est un gaz incolore, inodore et sans saveur. Il est obtenu par l'électrolyse de l'eau ou par liquéfaction de l'air qui en contient 1/5 de son volume. Il doit être d'une pureté très élevée de 99 %, car un oxygène moins pur entraîne une augmentation de la consommation de l'acétylène.

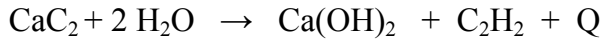
#### **L'acétylène ( C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> ) :**

L'acétylène (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) est un hydrocarbure gazeux, incolore avec un pouvoir calorifique de 14000 calories / m<sup>3</sup> et dont l'odeur est désagréable (odeur d'œil). Il est dangereux au point de vue déflagration, il explose en présence d'une décharge électrique ou de feu. Un mélange d'oxygène et d'acétylène peut exploser à la pression atmosphérique s'il ne contient que très peu d'acétylène.

Industriellement l'acétylène utilisé pour le soudage et l'oxycoupage est fabriqué à partir du carbure de calcium (CaC<sub>2</sub>), lequel est obtenu à partir d'un mélange de carbone (coke) et de chaux vive à très haute température, la réaction chimique qui s'y produit est la suivante :



Ensuite l'acétylène est obtenu dans des générateurs par la décomposition chimique du carbone de calcium avec l'eau selon la réaction suivante :



### **4.3.1. Matériel de soudage oxyacétylénique**

#### **4.3.1.1. Stockage de l'oxygène et de l'acétylène**

L'oxygène et l'acétylène sont livrés le plus couramment dans des bouteilles d'acier qui se distinguent de leur capacité. Les plus répandus sont les bouteilles de 40 dm<sup>3</sup> de capacité. Elles se distinguent par leurs particularités de construction et par leurs couleurs et doivent porter le timbre du service de contrôle des mines. La couleur conventionnelle de l'ogive de la bouteille d'oxygène est blanche et celle de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> est jaune. L'oxygène est comprimé à une pression de 150 bars, qui donne à la pression atmosphérique 7000 litres de gaz pour une bouteille dont le volume est de 46 litres.

Pour les bouteilles de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, on tasse une matière poreuse imbibée d'acétone dans laquelle est emmagasiné du C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sous pression de 15 bars. L'acétone peut dissoudre environ 24 fois son propre volume d'acétylène.

Pour les bouteilles d'oxygène, un calcul très simple permet de savoir à tout moment le volume d'oxygène contenu dans la bouteille rapporté à la pression atmosphérique. Ce calcul est valable pour une P<sub>0</sub> = 1 bar et T = 15°C, dans le cas contraire il existe des coefficients de correction. Par exemple, la pression restante dans la bouteille est de 100 bars. Contenance lue sur l'ogive :46 litres. A température constante :

$$P_0 V_0 = PV \implies V_0 = PV / P_0 = (100 \times 46) / 1 = 4600 \text{ litres.}$$

Les bouteilles d'acétylène doivent toujours être utilisées dans la position verticale pour éviter que l'acétone ne sorte de la bouteille. Les précautions à prendre concernant les bouteilles d'oxygène et d'acétylène sont :

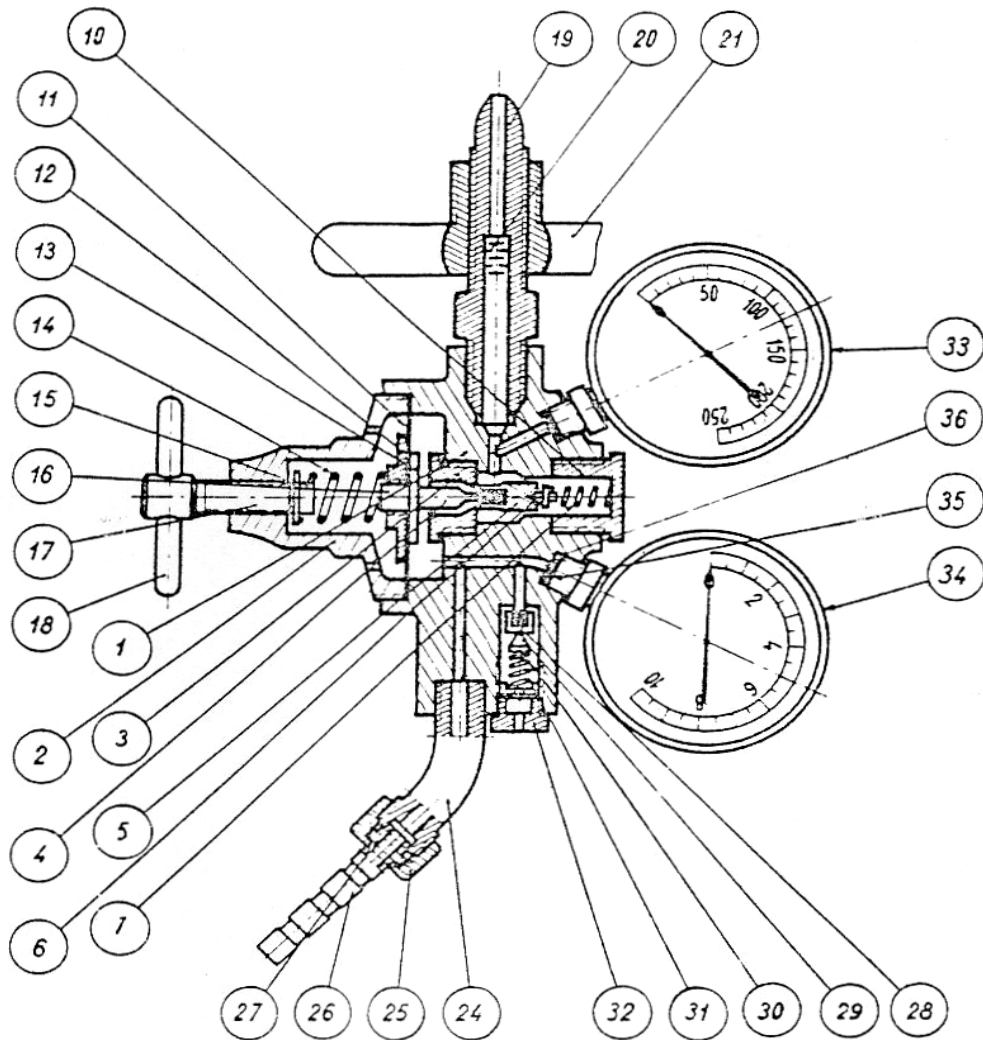
- Eviter les chocs.
- Eviter toute élévation anormale de température.
- Ne jamais introduire d'autres gaz dans les bouteilles vides
- Les robinets doivent être parfaitement étanches.
- En cas d'inflammation des gaz :
  - Fermer rapidement le robinet si l'échauffement est faible.
  - Si la bouteille est chaude, se mettre à l'abri et l'arroser de loin.

#### **4.3.1.2. Organes de réglages et de sécurité**

Les régulateurs ou détendeurs comme l'indiquent les figures 233 et 234, destinés respectivement pour l'oxygène et pour l'acétylène ont le rôle d'abaisser la pression des gaz



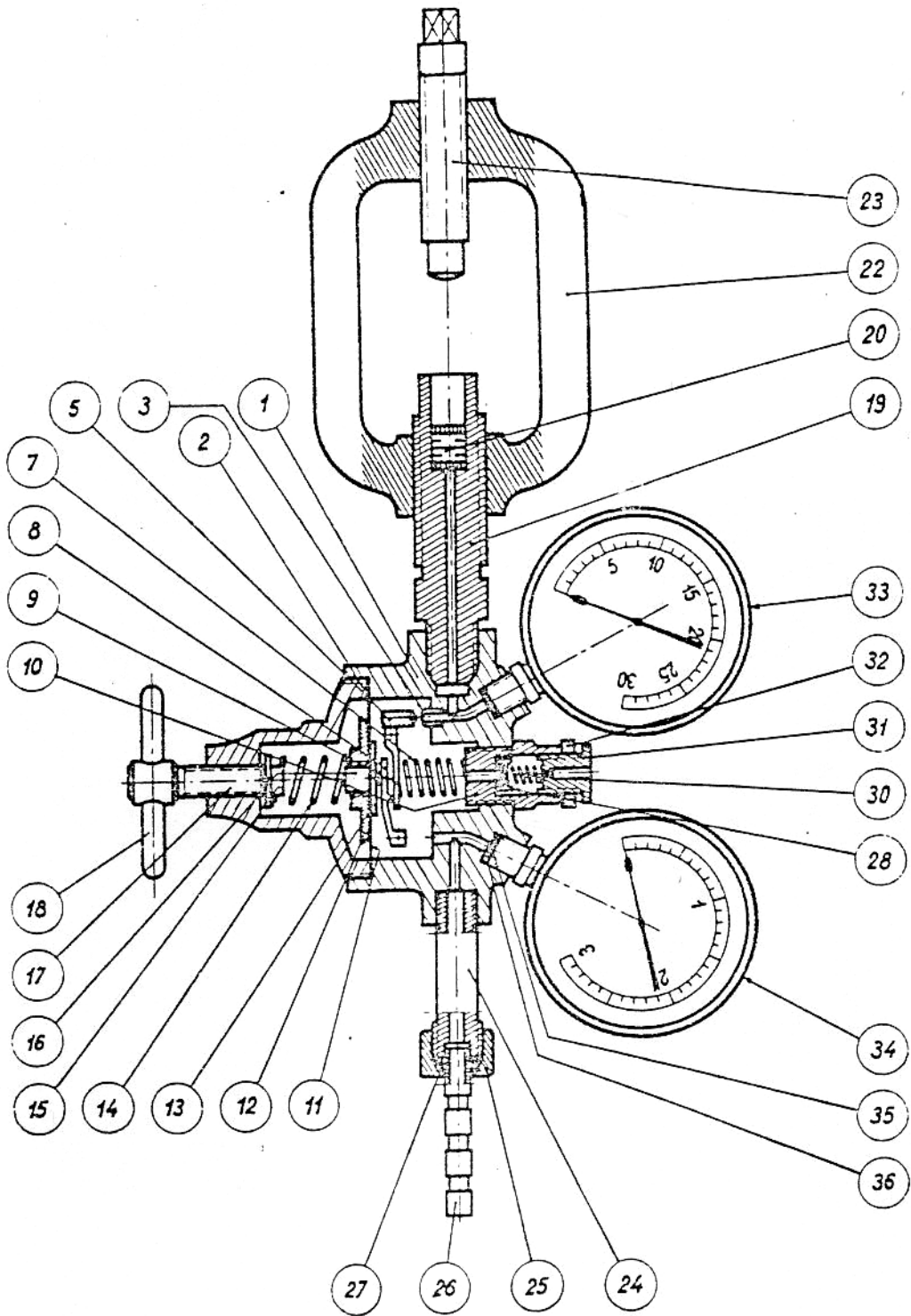
(O<sub>2</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) stockés dans les bouteilles (haute pression) à une pression de travail utilisable avec les chalumeaux coupeurs ou soudeurs. Ils sont placés entre les bouteilles de gaz et le chalumeau et permettent donc de maintenir stable et constante la pression détendue quelque soit la diminution de pression dans la bouteille.



Mano-détendeur pour oxygène

(fig. 233)

- |                                |   |                              |
|--------------------------------|---|------------------------------|
| 1. Corps                       | 13. Contre-plateau de membrane              | 25. Ecrou raccord            |
| 2. Couvercle                   | 14. Ressort de détente                      | 26. Douille porte-tuyau      |
| 3. Siège de détente            | 15. Centre de ressort de détente            | 27. Rondelle joint           |
| 4. Pousoir de clapet           | 16. Vis de centrage                         | 28. Clapet de soupape de     |
| 5. Clapet de détente           | 17. Vis de détente                          | 29. Centre de ressort de     |
| 6. Centre de ressort de clapet | 18. Barrette de vis                         | 30. Ressort de soupape de    |
| 7. Ressort de fermeture        | 19. Raccord d'entrée                        | 31. Butée de réglage de      |
| 8. Levier d'attaque            | 20. Filtre haute pression                   | 32. Vis ou écrou de blocage  |
| 9. Levier porte-clapet         | 21. Ecrou de raccord d'entrée gaz comprimé. | 33. Manomètre haute pression |
| 10. Bouchon de démontage       | 22. Etrier de montage acétylène dissout     | 34. Manomètre basse pression |
| 11. Membrane                   | 23. Vis d'étrier acétylène dissout          | 35. Filtres des manomètres   |
| 12. Plateau de membrane        | 24. Mamelon de sortie                       | 36. Joints des manomètres    |



Manodétendeur pour acétylène  
(fig. 234)

Chaque régulateur possède deux manomètres indiquant à tout moment la pression dans le cylindre (haute pression ou pression à détendre) et la pression nécessaire au soudage (basse pression ou pression détendue).

Le réglage de la pression du gaz est assuré par le vis de réglage (différente pour souder ou oxycouper). L'ensemble manomètre et détendeur s'appelle manodétendeur. Ces deux manomètres se différencient par leur dispositif de fixation afin d'éviter toutes permutations. L'écrou qui connecte le régulateur d'oxygène au cylindre se visse à droite et celui d'acétylène à gauche.

Le fonctionnement de tous les détendeurs est basé sur le même principe. Le détendeur possède deux chambres (fig. 235), à haute pression communiquant directement avec la bouteille de gaz et la pression qui y règne est égale à celle dans la bouteille et une chambre à basse pression communiquant avec le chalumeau.

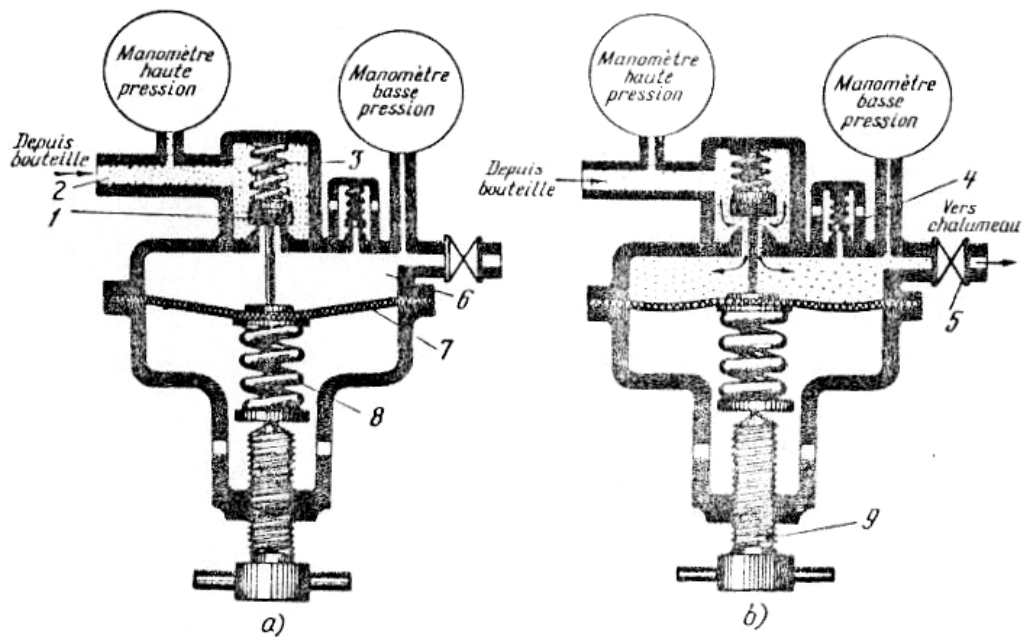


Schéma d'organisation et de fonctionnement d'un détendeur  
a - au repos et b - position de travail

(fig. 235)

Si on desserre la vis de réglage, l'obturateur est plaqué sur son siège. En ouvrant la bouteille, la chambre haute pression (H.P) se met sous pression de la bouteille. On agit ensuite sur la vis de réglage, l'obturateur se soulève, le gaz passe dans la chambre basse pression (B.P) et la pression ainsi obtenue agit sur la membrane, celle-ci referme l'obturateur, en agissant plusieurs fois sur la vis de réglage, on obtient ainsi la pression désirée.

Si le chalumeau débite :

- La pression dans B.P diminue.
- La membrane poussée par le ressort ouvre l'obturateur.
- Le gaz arrive à nouveau dans la chambre B.P.

Après une série d'oscillations rapides de l'obturateur, il se stabilise à une position telle que la chute dans l'obturateur, plus la pression dans la chambre B.P et la tension des ressorts,

devienne égale à la pression de la bouteille. Lorsque la pression de la bouteille baisse, l'obturateur poussé par le ressort, s'ouvre un peu plus, l'équilibre précédent demeure.

Certaines précautions qu'il faut prendre vis-à-vis des mano-détendeurs :

- N'ouvrir la bouteille qu'après être assuré que la vis de réglage est desserrée. Par suite de son inertie, l'obturateur ne peut pas se fermer immédiatement quand on ouvre la bouteille H.P et la pression B.P peut alors dépasser les possibilités du mano et détériorer la membrane du détendeur.
- Avant de monter le détendeur sur la bouteille, il y a lieu de purger la valve de cette dernière en l'ouvrant brusquement pour 2 ou 3 secondes. Ne jamais graisser ou huiler un régulateur.

#### 4.3.1.3. Tuyaux souples (boyaux)

Ils sont fabriqués en caoutchouc fortement entoilé et sont généralement de couleur rouge pour l'acétylène et bleue ou verte pour l'oxygène. Ils sont destinés à assurer l'amenée de gaz au chalumeau. Ne jamais repérer un boyau avec du ruban adhésif seulement mais insérer une douille de cuivre. Les tronçons de tuyaux raccordés ne doivent pas mesurer moins de 3m de longueur.

#### 4.3.1.4. Chalumeaux soudeurs

Les plus répandus, sont les chalumeaux oxyacétyléniques à injecteurs. En fonction de la pression d'admission des gaz à l'entrée du chalumeau on distingue :

**1. Chalumeau basse pression :** Ils sont conçus pour l'utilisation du  $C_2H_2$  basse pression (0,010 à 0,030 bars). L'oxygène doit avoir une pression de 0,100 bars afin que la vitesse de sortie des gaz soit compatible avec la stabilité de la flamme. C'est l'oxygène qui entraîne le  $C_2H_2$ , vers l'extérieur du chalumeau et d'éviter toute inflammation à l'intérieur du chalumeau.

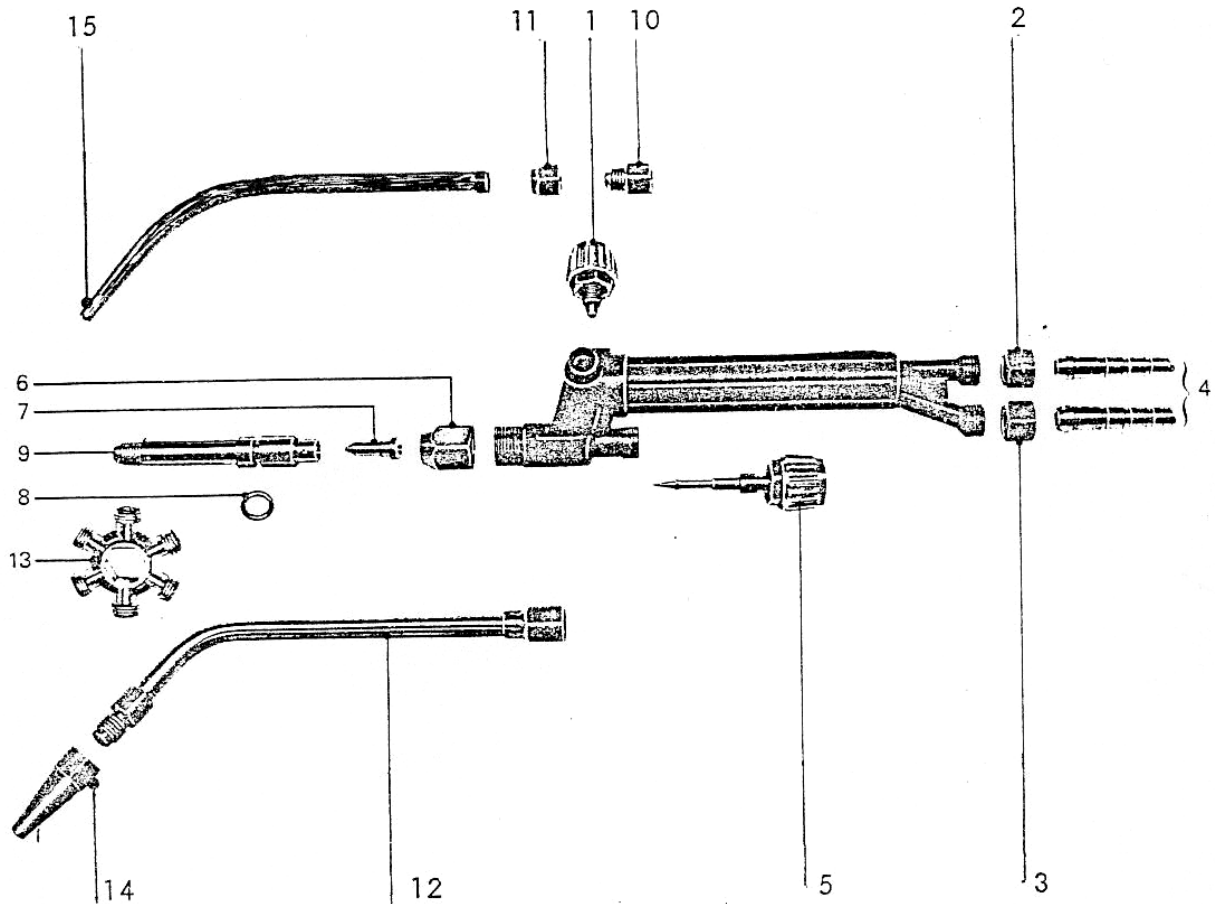
**2. Chalumeau haute pression :** Dans ce cas, les deux gaz entrent avec des pressions supérieures à 0,150 bars. Un chalumeau basse pression peut être utilisé avec l'acétylène à haute pression. l'inverse n'est pas possible. La figure 236 représente la description d'un chalumeau soudeur. Le lot complet du chalumeau comprend plusieurs lances de différents calibres (numérotés).

A chaque numéro de lance, correspondent les dimensions bien déterminées des canaux d'injecteurs et des buses, cela permet de faire varier le débit d'oxygène et d'acétylène lors du soudage.

Le déroulement du fonctionnement du dispositif à injecteur, provoque des retours de flamme et diminue la réserve d'acétylène contenue dans le mélange combustible. Ces incidents peuvent avoir pour cause l'obstruction partielle du canal d'oxygène, une augmentation trop prononcée de son diamètre par suite de l'usure des canaux d'acétylène, le

déplacement de l'injecteur par rapport au mélangeur et certains endommagements extérieurs de l'injecteur

**Description d'un chalumeau soudeur :**



(fig. 236)

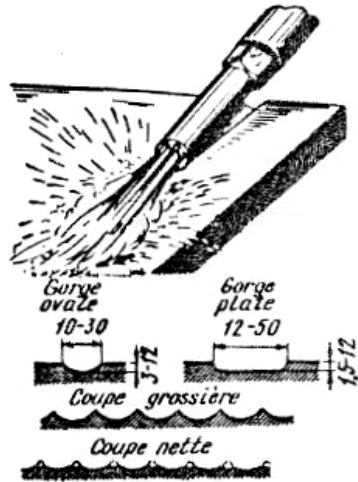
1. Robinet C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>
2. Ecrou olive gaz
3. Ecrou olive O<sub>2</sub>
4. Olive
5. Robinet O<sub>2</sub>
6. Ecrou de blocage du mélangeur
7. Injecteur
8. Joint du mélangeur
9. Mélangeur
10. Raccord intermédiaire
11. Ecrou de buse restreinte
12. Tube de mélange pour buse
13. Etoile porte-buses
14. Buse
15. Lance buse restreinte

Débits des buses et lances :

- N° 00 : de 10 à 40 l/h  
 N° 0 : de 50 à 180 l/h  
 N° 1 : de 250 à 1000 l/h  
 N° 2 : de 1250 à 5000 l/h  
 Les débits sont exprimés en litre par heure d'acétylène

#### 4.3.1.5. Chalumeaux oxycoupeurs

Les chalumeaux oxycoupeurs produisent la flamme de chauffe et assurent l'amenée d'un jet d'oxygène dans la zone de coupe (fig. 237).



Coupage par balayage à l'aide d'un chalumeau à trois jets de coupe :

1. Métal à couper.
2. Position du chalumeau lors du coupage.
3. Canal du jet d'oxygène de coupe principal.
4. Canaux des jets d'oxygène de polissage.
5. Dispositif de réglage continu.

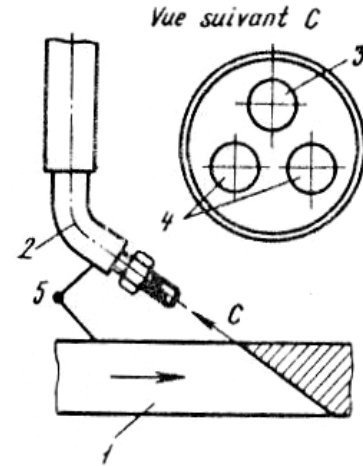
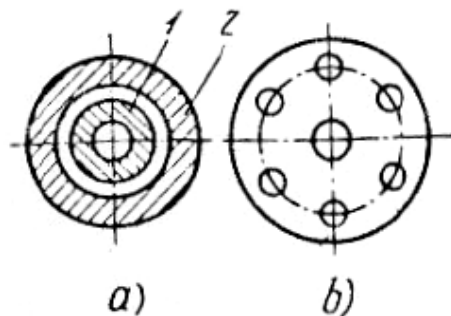


Schéma de fonctionnement d'un chalumeau coupeur à action superficielle et sections transversales des gorges ainsi obtenues.

(fig. 237)

Les chalumeaux coupeurs, ils comportent deux parties principales, un tube manche et une lance, leur différence réside dans le canal d'oxygène de coupe muni d'un robinet. La tête est munie de buses interchangeables choisies en fonction de l'épaisseur de l'acier à couper. Les buses peuvent être concentriques produisant une flamme de chauffe annulaire ou bien à flamme multiples (fig. 238, a et b).



Types de buses : a. Buses concentriques.  
(1 : buse intérieure ; 2 : buse extérieure)  
b. Buse à trous de chauffe multiples.

(fig. 238)

Les buses sont souvent obstruées par les gouttes de laitier lors du découpage, ce qui perturbe le travail, provoque des claquements secs et des retours de flammes. On utilise le plus souvent les buses concentriques.

#### 4.3.2. La flamme oxyacétylénique

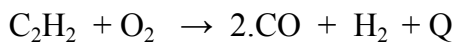
La flamme oxyacétylénique est remarquable, elle fournit la température la plus élevée par unité de surface, facilement réglable et la plus réductrice. La structure de la flamme oxyacétylénique est représentée sur la figure 239 avec les répartitions de la température suivant l'axe de la flamme et elle est caractérisée par :

- Ses propriétés chimiques.
- Sa température.
- Sa puissance spécifique.

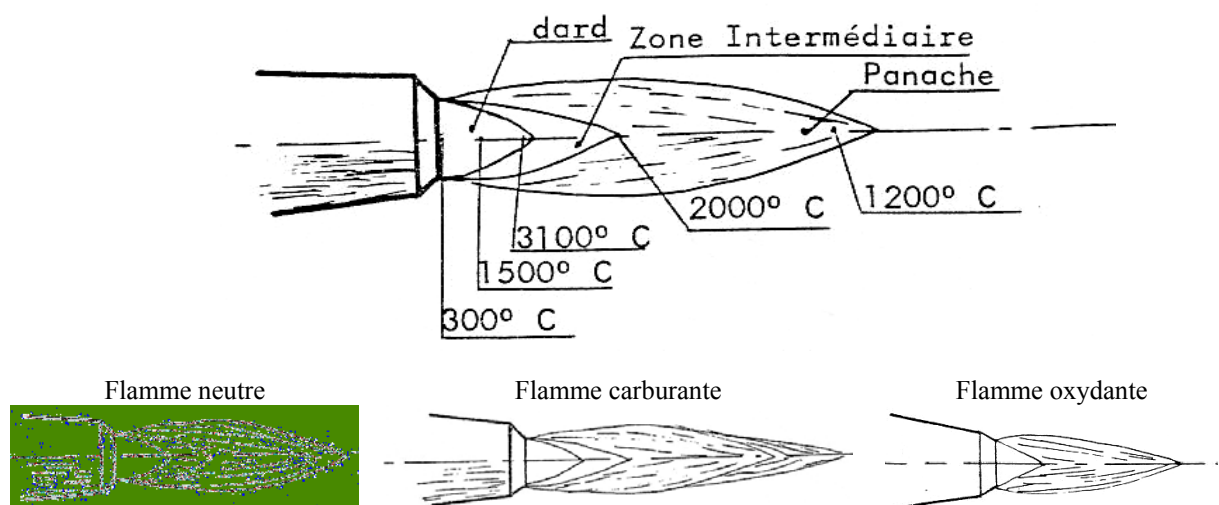
Dans sa structure on peut distinguer trois zones :

- Le dard.
- La zone réductrice (ou intermédiaire).
- Le panache.

**1. Le dard :** Il est composé par un mélange mécanique d'oxygène et de produits provenant de la dissolution de l'acétylène. C'est la surface où se fait la combustion primaire du  $C_2H_2$  et de  $O_2$  suivant la réaction suivante :



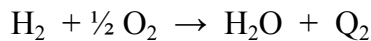
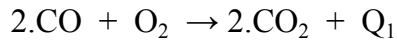
Le dard est blanc, très lumineux et la température la plus élevée  $3150^\circ C$  se trouve à son extrémité. La combustion du carbone et de l'hydrogène dans le dard n'est pas complète, c'est dans le panache que s'effectue leur combustion complète grâce à la participation de l'oxygène de l'air. La combustion complète d'un volume de  $C_2H_2$  nécessite 2,5 volumes de  $O_2$ .



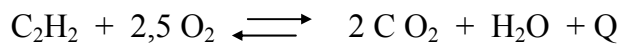
(fig. 239)

**2. La zone intermédiaire ou réductrice :** Comme son nom l'indique, elle se situe entre le dard et le panache C'est à l'extrémité de cette zone qu'il faut maintenir la métal d'apport pour le protéger contre les agents corrosifs de l'atmosphère ambiante.

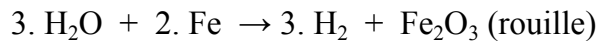
**3. Le panache :** C'est dans cette zone que s'effectue la combustion secondaire de  $C_2H_2$  et  $O_2$  avec la participation de l'oxygène de l'air ambiant.



En somme, ceci donne :



Dans le panache, l'hydrogène et l'oxyde de carbone brûlent en donnant respectivement de la vapeur d'eau et du gaz carbonique le  $CO_2$  qui est neutre, mais il favorise l'attaque du fer. La vapeur d'eau cède son oxygène au métal chaud selon la réaction :



Réglage de la flamme oxyacétylénique :

En fonction du rapport entre le volume d'oxygène et d'acétylène consommé  $O_2 / C_2H_2$ , la flamme peut être :

- Neutre.
- Carburante.
- Oxydante

**Flamme neutre (normale) :** Le rapport  $O_2 / C_2H_2 = 1$ . C'est la flamme dont on se sert pour souder ou chauffer. Elle se traduit par un dard blanc brillant séparé du panache par la zone intermédiaire, il est presque le seul visible à travers les lunettes à souder. Lorsqu'on soude avec une flamme neutre, le métal en fusion est clair et transparent.

**Flamme carburante :** Le rapport  $O_2 / C_2H_2 > 1$ . Une telle flamme est obtenue si à la flamme neutre, on augmente de débit d'acétylène, une auréole se superpose au dard normal qui s'allonge avec l'excès de  $C_2H_2$ , sa forme est souvent irrégulière et instable. Cette flamme contient une teneur élevée en carbone. On l'utilise souvent pour des rechargements durs de pièces d'usures ou pour des traitements de surface (cémentation). Lors de la soudure avec une telle flamme, le métal en fusion est trouble et recouvert d'une écume blanche.

**Flamme oxydante :** Le rapport  $O_2 / C_2H_2 < 1$ . On peut obtenir une flamme oxydante, si à la flamme neutre, on augmente le débit d'oxygène, le dard se raccourcit ainsi que le panache, la flamme siffle, elle est oxydante et brûle le métal (oxydation de l'acier avec risque de soufflures). Cette flamme n'est jamais employée. Pour souder, la pression doit être :

- de 0,250 à 0,500 bars pour le  $C_2H_2$
- et de 1 à 3 bars pour l' $O_2$ .



Dans la pratique, et au cours du soudage on peut s'attendre à un dérèglement du chalumeau ou la flamme se modifie. Si le phénomène se prolonge, la flamme peut s'éteindre avec un claquement caractéristique, ces incidents de fonctionnements sont dus soit :

- **A un écrasement** provoqué par des projections d'oxydes surtout lorsque l'on tient le chalumeau trop près du bain de fusion. Un éloignement léger du chalumeau du bain de fusion ou son nettoyage peuvent remédier à cette situation.
- **A un claquement** qui est dû à une fuite interne à la buse ou la pression d'oxygène est insuffisante (buse trop puissante dont on essaie de réduire le débit à l'aide du robinet). Les claquements répétés peuvent être évités en mettant le bec du chalumeau dans de l'eau en laissant seul le robinet d'oxygène ouvert. Dans le cas des claquements suivis d'un sifflement avec projection de poussières noires, on doit fermer immédiatement la bouteille.
- **La flamme décolle.** Elle est due à la vitesse de sortie des gaz qui est trop grande, dans ce cas on doit réduire les pressions.

#### 4.4. Technique de soudage

Dans la technique de soudage, on trouve différentes méthodes qui s'appliquent suivant les épaisseurs des joints et leur préparation tels que bord à bord, bords relevés, sur chanfrein en V, sur chanfrein en X, etc.

#### 4.5. Position de soudage

Les principales positions de soudage sont les suivantes :

1. A plat.
2. Au plafond.
3. En corniche.
4. Verticale (montante ou descendante)

Dans la position à plat, il est assez aisé d'obtenir une bonne pénétration, convexe et régulière, le bain étant soutenu naturellement par les bords des pièces à souder.

En plafond, au contraire, du fait de la pesanteur du bain de fusion, il sera difficile de réaliser une bonne pénétration, cette dernière se présentera souvent sous forme concave ou simplement plate. En soudage à l'arc, l'intensité de soudage est plus faible pour la position plafond que pour la position à plat (environ 10 à 15 % de moins).

En position descendante, l'intensité est 15 à 20 % supérieure à celle nécessaire pour le soudage à plat. En position montante, l'intensité est 15 à 20 % inférieure à celle nécessaire pour le soudage à plat.

Les tableaux du code ASME, montrent les positions principales de soudage et indiquent comment on ramène une position quelconque de soudage parmi les quatre positions types.

#### **4.6. Préparation des bords à souder**

Dans la pratique, le mode d'assemblage des bords à souder (écartement, forme des bords, positions respectives des bords) joue un rôle très important sur la facilité d'exécution d'un joint et sur sa qualité. Un soudeur doit toujours avoir présent à l'esprit qu'une mauvaise préparation des bords donne une mauvaise soudure.

La préparation des bords varie en fonction de l'épaisseur des pièces à assembler, de la méthode de soudage et de la position de soudage.

Les coupes et chanfreins peuvent être obtenus par :

- Oxycoupage.
- Limage.
- Cisailage.
- Usinage, rabotage ou meulage.