PROCÉDÉS DE SOUDAGE

Tout le catalogue sur
www.dunod.com

DUNOD
ÉDITEUR DE SAVOIRS

Klas Weman

L'USINE NOUVELLE

PROCÉDÉS DE SOUDAGE

DUNOD

Photo de couverture : © tumpikuja – istockphoto.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

© Dunod, Paris, 2012
ISBN 978-2-10-057810-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Remerciements XI

Chapitre 1 : Le soudage – Introduction 1

1.1 Brève histoire du soudage 1

1.2 Terminologie 9

1.3 Pour en savoir plus 14

Chapitre 2 : Soudage au gaz 15

2.1 Introduction 15

2.2 Matériel 15

2.3 Flammes de gaz 19

2.4 Techniques de soudage 20

2.5 Applications 21

2.6 Pour en savoir plus 22

Chapitre 3 : Éléments d'électricité 23

3.1 Introduction 23

3.2 Concepts de base 23

3.3 Composants de circuits électriques 27

3.4 Mesure des paramètres de soudage 33

Chapitre 4 : Soudage à l'arc 37

4.1 Introduction 37

4.2 Éléments de physique 37

4.3 Transfert du métal fondu 44

4.4 Soufflage d'arc 49

4.5 Gaz de protection 52

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

4.6 Normalisation des gaz de protection 54
4.7 Normes applicables aux fils-électrodes et métaux d'apport 58
4.8 Pour en savoir plus 60

Chapitre 5 : Alimentation du soudage à l'arc 63
5.1 Introduction 63
5.2 Caractéristiques électriques et contrôle-commande 63
5.3 Différents types de sources d'alimentation de soudage 67
5.4 Contrôle-commande des sources d'alimentation 71
5.5 Caractéristiques des sources d'alimentation 74
5.6 Exigences de sécurité 77
5.7 Pour en savoir plus 78

Chapitre 6 : Soudage TIG 79
6.1 Introduction 79
6.2 Matériel 80
6.3 Consommables 85
6.4 Problèmes de qualité 87
6.5 Pour en savoir plus 88

Chapitre 7 : Soudage (à l'arc) plasma 89
7.1 Introduction 89
7.2 Classification des procédés de soudage plasma 91
7.3 Matériel 92
7.4 Gaz utilisés pour le soudage plasma 93
7.5 Pour en savoir plus 93

Chapitre 8 : Soudage MIG/MAG 95
8.1 Introduction 95
8.2 Matériel 95
8.3 Consommables 103
8.4 Variantes du procédé MIG/MAG 107
8.5 Qualité du soudage MIG/MAG 119
8.6 Pour en savoir plus 123

Chapitre 9 : Soudage à l'arc avec électrodes enrobées 125
9.1 Introduction 125
9.2 Matériel 126
9.3 Consommables : électrodes 127
9.4 Défauts de soudure 129

Chapitre 10 : Soudage à l'arc submergé 131
10.1 Introduction 131
10.2 Matériel 132
10.3 Consommables 137
10.4 Maîtrise du procédé 140
10.5 Risques de défauts de soudure 144
10.6 Pour en savoir plus 147

Chapitre 11 : Procédés de soudage par pression 149
11.1 Introduction 149
11.2 Soudage par résistance 149
11.3 Soudage par friction 158
11.4 Soudage haute fréquence (incluant le soudage par induction) 161
11.5 Soudage par ultrasons 162
11.6 Soudage par explosion 162
11.7 Magnétoformage 164
11.8 Assemblage par pression à froid 165
11.9 Soudage par diffusion 166
11.10 Pour en savoir plus 166

Chapitre 12 : Autres procédés de soudage 167
12.1 Introduction 167
12.2 Soudage vertical sous laitier 167
12.3 Soudage électrogaz 169
12.4 Soudage de goujons 169
12.5 Soudage laser 171
12.6 Soudage par faisceau d'électrons 176

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

12.7 Soudage aluminothermique 178
12.8 Pour en savoir plus 179

Chapitre 13 : Procédés de coupage 181
13.1 Introduction 181
13.2 Coupage thermique 181
13.3 Découpe par jet d'eau 188
13.4 Gougeage à la flamme 189
13.5 Pour en savoir plus 190

Chapitre 14 : Techniques de rechargement et de placage 191
14.1 Introduction 191
14.2 Types d'usures 192
14.3 Projection thermique 194
14.4 Projection à la flamme 195
14.5 Pour en savoir plus 198

Chapitre 15 : Mécanisation et robotisation du soudage 199
15.1 Introduction 199
15.2 Qualité du soudage mécanisé 200
15.3 Mécano-soudure TIG 201
15.4 Soudage à volume fondu réduit (Narrow Gap) 203
15.5 Soudage à l'arc robotisé 205
15.6 Pour en savoir plus 211

Chapitre 16 : Brasage tendre et brasage 213
16.1 Introduction 213
16.2 Brasage tendre 215
16.3 Brasage 217

Chapitre 17 : Hygiène et sécurité du soudage 223
17.1 Introduction 223
17.2 Fumées et gaz de soudage 223
17.3 Risques électriques 226

17.4 Rayonnement thermique de l'arc 229
17.5 Ergonomie 231
17.6 Risques d'incendie 232
17.7 Pour en savoir plus 234

Chapitre 18 : Contraintes résiduelles et déformations 235
18.1 Introduction 235
18.2 Contraintes résiduelles 235
18.3 Déformations 236
18.4 Réduction des contraintes résiduelles et des déformations 239
18.5 Pour en savoir plus 240

Chapitre 19 : Soudabilité de l'acier 241
19.1 Introduction 241
19.2 Aciers au carbone 241
19.3 Aciers à haute limite d'élasticité 247
19.4 Aciers inoxydables 249
19.5 Pour en savoir plus 261

Chapitre 20 : Soudage de l'aluminium 263
20.1 Introduction 263
20.2 Classification des alliages et métaux d'apport en aluminium 264
20.3 Soudabilité 267
20.4 Procédés de soudage de l'aluminium 271
20.5 Métal d'apport 273
20.6 Résistance du métal soudé 274
20.7 Qualité du soudage de l'aluminium 277
20.8 Pour en savoir plus 280

Chapitre 21 : Représentation des assemblages soudés 281
21.1 Introduction 281
21.2 Représentation symbolique des soudures sur les dessins 281
21.3 Niveaux de qualité 285
21.4 Données relatives à la conception 286

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

21.5 Résistance des joints soudés 297
21.6 Analyse de joints soudés sous charge statique 298
21.7 Structures soudées soumises à des charges de fatigue 301
21.8 Bibliographie 306

Chapitre 22 : Assurance qualité et gestion de la qualité 307

22.1 Introduction 307
22.2 Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques (EN ISO 3834) 308
22.3 Coordination en soudage (EN ISO 14731) 310
22.4 Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage (EN 288) 313
22.5 Épreuves de qualification des soudeurs (EN 287-1) 320
22.6 Essais non destructifs 323
22.7 Pour en savoir plus 324

Chapitre 23 : Coûts du soudage 325

23.1 Introduction 325
23.2 Coûts du soudage – Quelques concepts clés 326
23.3 Calculs des coûts 329
23.4 Mécanisation, automatisation, soudage robotisé 334

Index 335

Remerciements

Le présent guide du soudage prend en compte les évolutions les plus récentes des procédés et applications du soudage. L'objectif est de proposer un support de cours de soudage prenant en compte les normes et directives existantes. Les auteurs ont fait le choix de privilégier la clarté des contenus et l'efficacité des illustrations et, bien entendu, de toujours mettre l'ensemble des contenus en perspective.

Je voudrais remercier tout particulièrement :

Claes Olsson, HighTech Engineering, qui a écrit le chapitre sur la conception des assemblages soudés.

Claes-Ove Pettersson, Sandvik, qui a relu les parties se rapportant à l'acier inoxydable.

Curt Johansson, qui a écrit le chapitre sur la gestion de la qualité.

Gunnar Lindén, Air Liquide, qui a relu le chapitre sur les coûts du soudage.

Staffan Mattson, Aluminiumförlaget, qui a écrit le chapitre sur le soudage de l'aluminium.

Je voudrais aussi et surtout saluer la mémoire de Curt Johansson, décédé alors que cette nouvelle édition était en préparation, et à qui l'ouvrage est dédié.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

1 Le soudage – Introduction

1.1 Brève histoire du soudage

Pendant des millénaires, l'assemblage des métaux s'est fait par forgeage. La rupture est intervenue à la fin du XIXe siècle, lorsqu'il est devenu possible d'obtenir des températures de flammes suffisantes en mélangeant des gaz comme l'oxygène et l'acétylène désormais stockables en toute sécurité et que sont apparus des procédés de soudage, comme le soudage par résistance (figure 1.1) et le soudage à l'arc, utilisant l'électricité comme source d'énergie. Avec ces procédés, la montée en température provoquée par une source thermique intense était bien plus rapide que la dissipation à l'intérieur de la pièce à souder. Le bain de métal en fusion obtenu se solidifiait en refroidissant pour constituer le joint unissant les deux pièces à souder. Le soudage à l'arc, le soudage par résistance et le soudage sous protection gazeuse ont tous été inventés avant la Première Guerre mondiale.

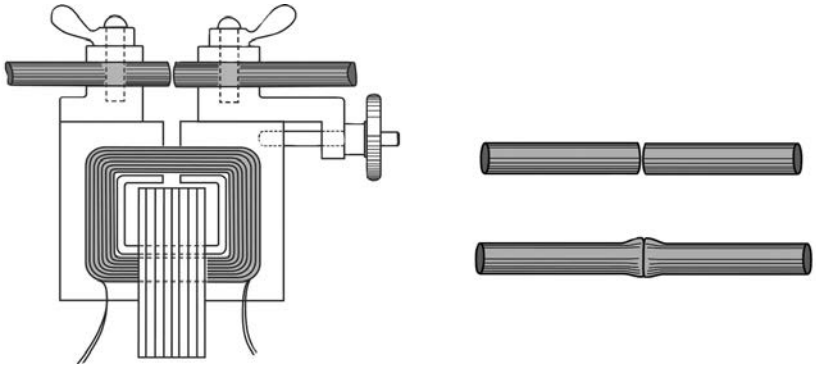

Figure 1.1 Transformateur de Thomson pour le soudage électrique par résistance.

1.1.1 Soudage par résistance

Les premières machines de soudage par résistance ont servi au soudage bout à bout. Le premier transformateur de soudage a été inventé aux États-Unis en 1886 par Elihu Thomson, qui fit breveter le procédé l'année suivante. Son transformateur fournissait environ 2 000 A à 2 volts en circuit ouvert.

Au début du XXe siècle, Thomson continua à perfectionner le soudage par points, le soudage par projection et le soudage bout à bout par étincelage. Le soudage par points devint par la suite le procédé le plus répandu. On l'utilise aujourd'hui dans l'industrie automobile et dans bien d'autres applications de soudage de tôles. La figure 1.2 illustre le principe : deux électrodes en cuivre appliquent une pression sur deux plaques en recouvrement et un courant de forte intensité unit les plaques par fusion. Le premier robot de soudage par résistance par points a été livré par Unimation à General Motors en 1964.

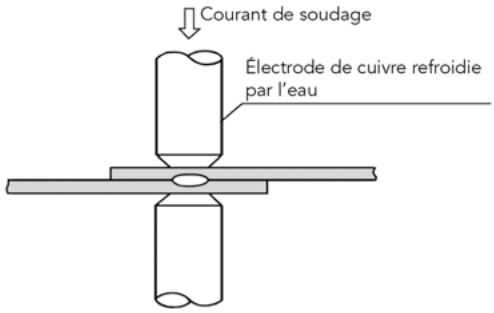

Figure 1.2 Principe du soudage électrique par résistance par points.

1.1.2 Soudage au gaz

Le soudage au gaz ou oxyacétylénique est apparu en France à la fin du XIXe siècle. Edmond Fouché et Charles Picard ont fabriqué la première torche de soudage vers 1900. Le mélange d'acétylène et d'oxygène permettait d'obtenir une température de 3 100 °C, soit bien plus que les autres hydrocarbures gazeux. La torche est vite devenue l'outil essentiel pour le soudage et la découpe de l'acier.

L'acétylène avait été découvert bien plus tôt en Angleterre où Edmund Davis s'aperçut que la décomposition du carbure par l'eau produisait un gaz inflammable. En brûlant, ce gaz fournissait un important éclairement et l'acétylène devint très vite une source d'éclairage.

Fréquemment, le gaz explosait à l'occasion de son transport ou de son utilisation, mais on s'aperçut que l'acétone pouvait en dissoudre des quantités importantes,

surtout sous pression. Le Chatelier découvrit le moyen de stocker l'acétylène en sécurité en utilisant de l'acétone et une pierre poreuse dans un récipient cylindrique (figure 1.3). En modifiant la composition du contenu poreux, le Suédois Gustav Dahlen de AGA, réussit à éliminer tout risque.

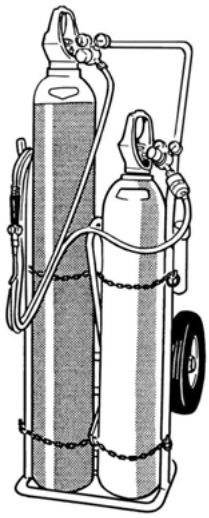

Figure 1.3 Matériel de soudage au gaz.

1.1.3 Soudage à l'arc

Le soudage à l'arc a d'abord utilisé des électrodes en charbon créées par Bernardos, puis des électrodes en acier. N'étant pas protégée de l'air environnant, la soudure présentait des défauts de qualité. En inventant et en faisant breveter l'électrode enrobée, le Suédois Oskar Kjellberg permit une avancée considérable (figure 1.4). Le résultat était d'excellente facture et les électrodes enrobées ont donné naissance à la société ESAB.

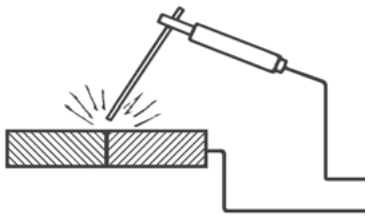

Figure 1.4 Schéma de principe du soudage manuel avec électrode enrobée (MMA).

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

1.1.4 Évolutions ultérieures : soudage AS, TIG et MIG/MAG

À la fin des années 1930, de nouveaux procédés apparaissent. Ils détrônent le soudage à l'arc traditionnel (manuel) avec électrode fusible, désormais remplacée par un fil-électrode dont on commence à automatiser le dévidage. Le procédé de ce type le plus utilisé est le *soudage à l'arc submergé* (AS), dans lequel l'arc est immergé dans une couche de flux granuleux (figure 1.5).

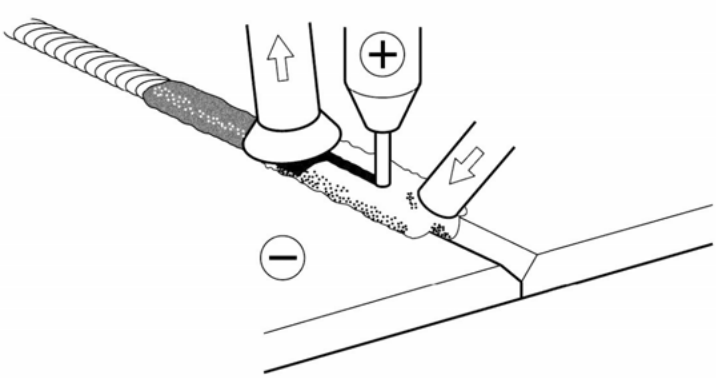

Figure 1.5 Schéma de principe du soudage à l'arc submergé (AS).

Pendant la Seconde Guerre mondiale, l'industrie aéronautique est confrontée au problème du soudage du magnésium et de l'aluminium. Dès 1940, les États-Unis expérimentent la protection de l'arc par gaz inerte, puis, très vite, l'utilisation d'une électrode en tungstène permet l'amorçage de l'arc sans fusion de l'électrode, et donc la soudure sans métal d'apport. Le procédé est dit *soudage TIG (Tungsten Inert Gas)* (figure 1.6).

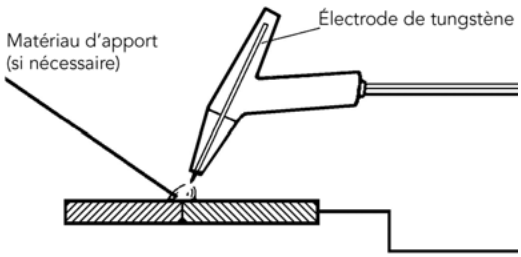

Figure 1.6 Schéma de principe du soudage TIG.

Quelques années plus tard apparaît le procédé MIG (soudage avec gaz de protection inerte), utilisant comme électrode un fil de métal d'apport à dévidage continu

(figure 1.7). Ce procédé a d'abord utilisé des gaz de protection inertes comme l'hélium ou l'argon. Lyubavskii et Novoshilov ont, les premiers, utilisé du CO_2 disponible en quantité et donc bon marché. En utilisant un transfert de métal en court-circuit, ils ont pu résoudre certains problèmes liés à l'abondance des projections. Lorsque l'hélium ou l'argon est remplacé par du CO_2 plutôt réactif ou un mélange de type argon/CO_2, on parle de *soudage MAG (Metal Active Gas).*

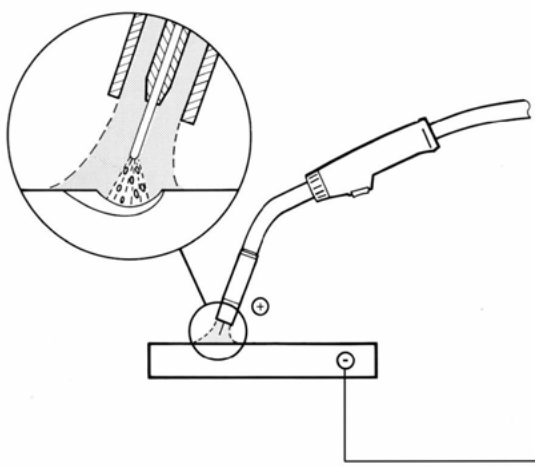

Figure 1.7 Schéma de principe du soudage MIG/MAG.

Apparu en 1953, le soudage au plasma fournit une source d'énergie bien plus concentrée et donne des températures bien plus élevées, permettant ainsi d'accroître la vitesse de soudage en réduisant l'apport de chaleur (figure 1.8).

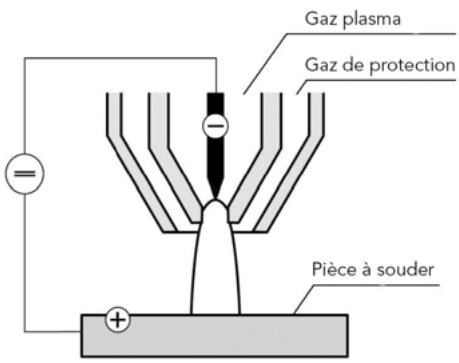

Figure 1.8 Schéma de principe du soudage au plasma.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

1.1.5 Autres procédés

Le *soudage par faisceau d'élect*rons (soudage FE) apparaît en 1958 (figure 1.9). Il relève, avec le soudage laser, de la catégorie du soudage par faisceau à haute densité d'énergie. Grâce à l'utilisation de très hautes températures, il permet une pénétration étroite et profonde. Il présente néanmoins un inconvénient majeur : il faut en effet pouvoir disposer d'une chambre à vide pouvant contenir à la fois le canon à électrons et la pièce à souder. L'aéronautique et le nucléaire sont les premiers à le plébisciter.

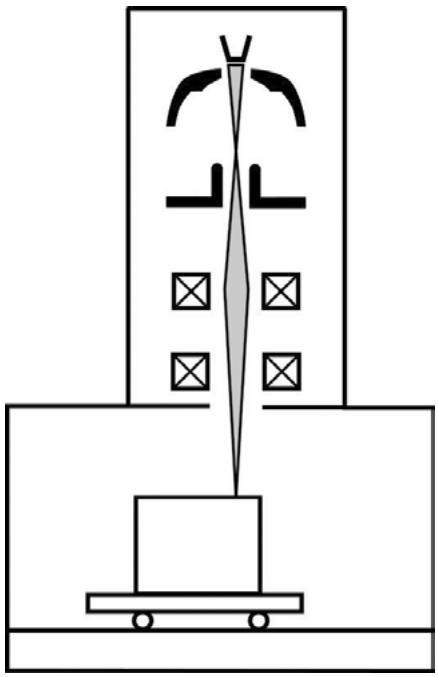

Figure 1.9 Schéma de principe du soudage par faisceau d'électrons.

Le *soudage (et le coupage) laser* ont des caractéristiques idéales à plus d'un titre (figure 1.10). Le faisceau laser permet une conduite plus concentrée de la chaleur, des déformations très faibles et de très grandes vitesses de soudage. Malheureusement, un laser puissant est encombrant et coûteux, et il faut trouver le moyen d'amener le faisceau lumineux jusqu'au point de soudure. Pour y parvenir, un système de miroirs réfléchit le faisceau dans les lasers CO_2, et le rayon peut être transmis par fibre optique dans les lasers YAG, ce qui fait de ces derniers l'instrument idéal pour les robots soudeurs.

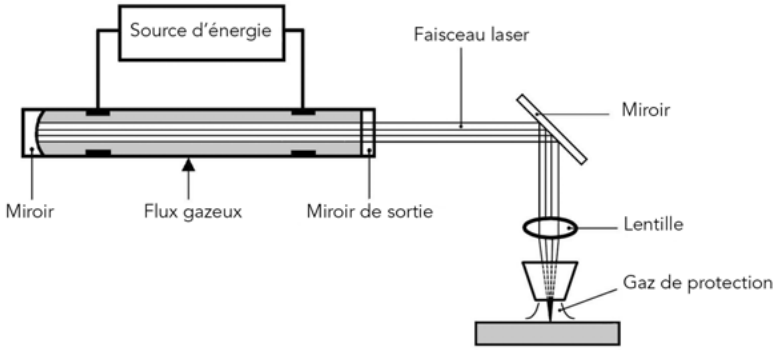

Figure 1.10 Schéma de principe du soudage laser.

Le *soudage par friction-malaxage* a été breveté par TWI en 1992 (figure 1.11). Le procédé est parfaitement adapté à l'aluminium et donne un joint de bonne qualité sans fusion. Il n'exige pas de matériau d'apport, consomme peu d'énergie et a un faible impact environnemental. Sa simplicité et son efficacité en font l'une des plus brillantes innovations du XXe siècle dans le domaine du soudage.

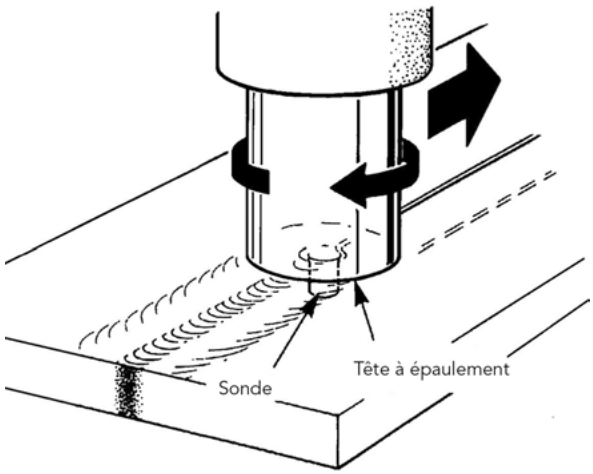

Figure 1.11 Soudage par friction-malaxage.

L'évolution la plus récente est le *soudage hybride*, combinant deux procédés. La formule la plus prometteuse est le soudage hybride laser/MIG, qui permet à la fois une vitesse de soudage élevée et une excellente pénétration.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

1.1.6 Générateurs de soudage

Le soudage électrique exige une énergie considérable et il a fallu attendre la fin de XIXe siècle pour voir apparaître les générateurs nécessaires (figure 1.12).

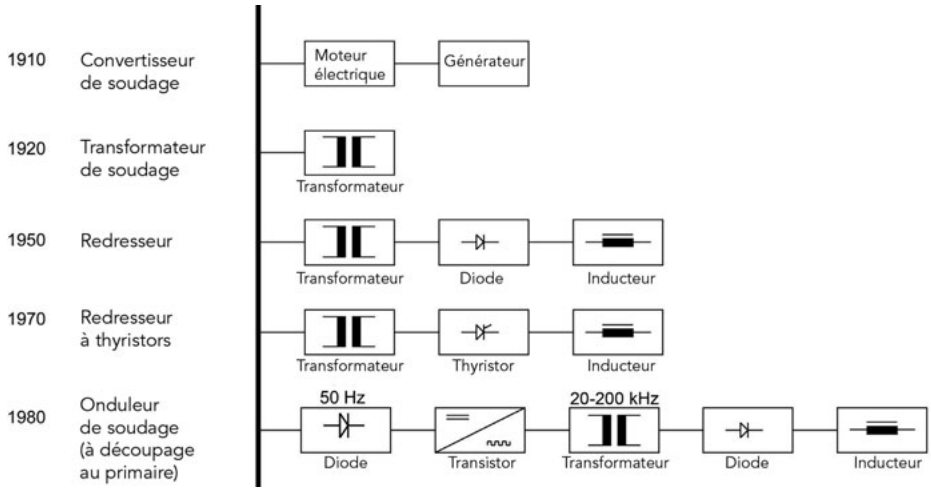

Figure 1.12 Principes de conception des générateurs de soudage.

En Allemagne, AEG a produit, en 1905, un générateur de soudage comportant un moteur asynchrone triphasé et présentant les caractéristiques voulues pour le soudage. Il pesait une tonne et fournissait 250 A. Jusqu'en 1920, le soudage à l'arc se faisait en courant continu. Ensuite, l'électrode a permis d'utiliser le courant alternatif. Le transformateur de soudage s'est vite répandu car il était moins cher et consommait moins d'énergie.

Les redresseurs de soudage statiques sont apparus à la fin des années 1950. Ce furent d'abord des redresseurs au sélénium, suivis par les redresseurs au silicium. Les redresseurs à thyristors apparus ultérieurement permettaient le contrôle électronique du courant de soudage. Ce type de redresseur s'est largement répandu, au moins dans les générateurs de soudage de grande puissance. Cependant, l'avancée la plus remarquable reste l'invention de l'onduleur de soudage en 1980.

1.1.7 Soudage mécanisé

On utilise des robots de soudage mécanisé depuis 1964. La robotisation du soudage à l'arc est apparue une dizaine d'années plus tard, lorsqu'il est devenu possible de produire des robots électriques d'une précision suffisante pour répondre aux exigences du soudage MIG. La mécanisation ouvrait de nouvelles

perspectives. Le soudage à l'arc submergé se développa rapidement dans les domaines de la construction navale, de la tuberie et de la fabrication de récipients sous pression de grand volume. Le soudage à faible écartement du joint (*narrow gap*) réduit le temps de soudage, la quantité de consommables et la déformation des pièces lourdes soudées. Le soudage TIG et le soudage plasma mécanisés sont utilisés dans des applications pour lesquelles les exigences de qualité sont extrêmement fortes.

1.2 Terminologie

1.2.1 Définitions des procédés de soudage

La norme ISO 857 définit les procédés de soudage. La norme ISO 4063 définit la nomenclature et la numérotation des procédés. Le tableau 1.1 donne des exemples de numérotation des procédés de soudage. Les désignations numériques figurent sur les dessins (norme ISO 2553) ou les qualifications des modes opératoires de soudage (QMOS) (norme EN ISO 15614-1).

Tableau 1.1 Numérotation de quelques procédés de soudage par fusion (norme ISO 4063).

Procédé	Numéro de référence
Soudage à l'arc avec électrode enrobée	111
Soudage à l'arc avec fil fourré sans gaz de protection	114
Soudage à l'arc submergé	12
Soudage MIG	131
Soudage MAG	135
Soudage MAG avec fil fourré	136
Soudage TIG	14
Soudage à l'arc plasma	15
Soudage oxygaz	311

La figure 1.13 recense les divers types de procédés de soudage.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

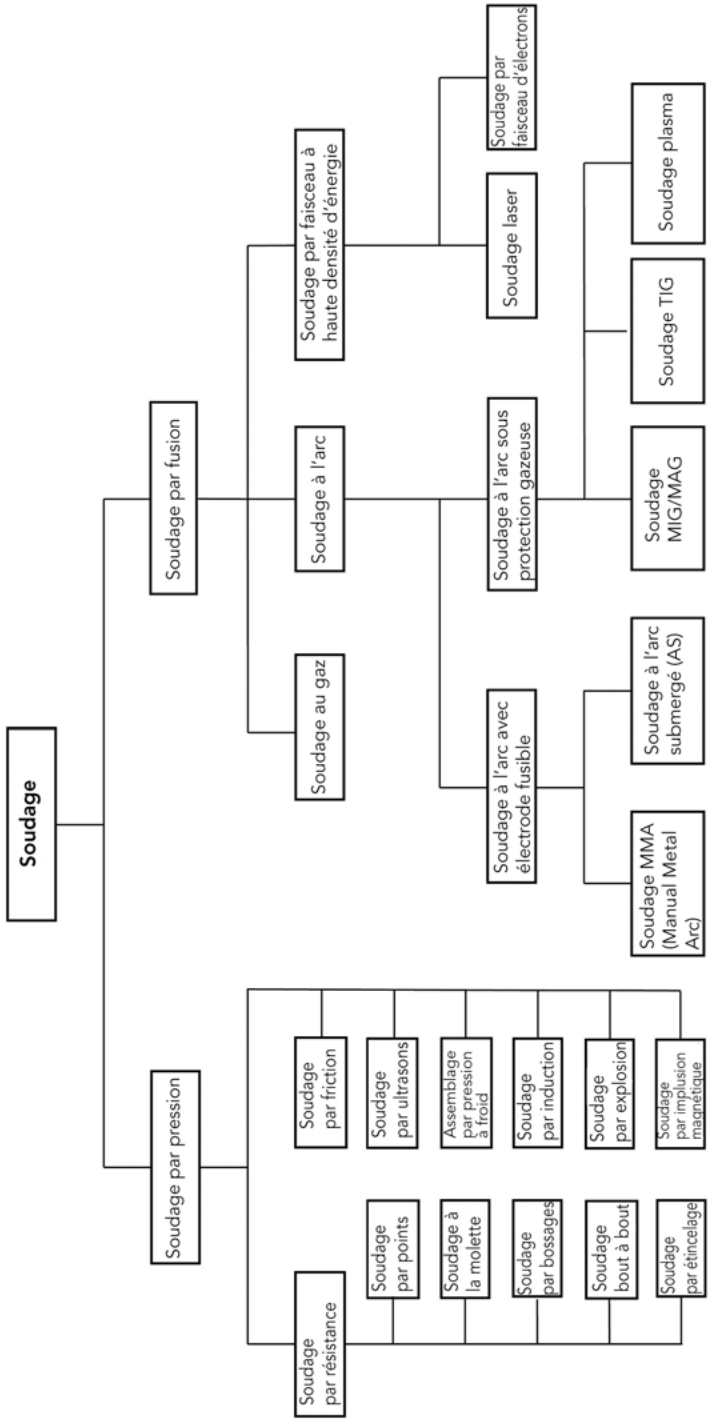

Figure 1.13 Organigramme des procédés de soudage les plus répandus.

1.2.2 Vocabulaire de base

Ensemble soudé : ensemble formé par la soudure, la zone affectée thermiquement et le métal de base.

Soudure bout à bout/en bout : assemblage de deux pièces bord à bord. Les assemblages se font le plus souvent en pleine pénétration et sont très résistants.

Soudure d'angle : assemblage en T ou en L de deux pièces qui se recouvrent ou qui sont perpendiculaires l'une à l'autre.

Soudage par pression : soudage avec application d'une pression provoquant une déformation plus ou moins plastique des surfaces à souder, généralement sans métal d'apport. Aucune partie constitutive ne subit de fusion. Il est possible, au besoin, de chauffer les surfaces à souder pour permettre ou faciliter l'assemblage.

Soudage par fusion : soudage avec fusion assurant la formation du joint sans pression. L'utilisation d'un métal d'apport fondu n'est pas toujours nécessaire.

Placage : application par soudure, sur la pièce à souder, d'une ou plusieurs couches d'un métal différent de celui de la pièce à souder. Permet d'obtenir une meilleure résistance à l'abrasion, à la corrosion ou à la chaleur.

Qualification des modes opératoires de soudage (QMOS) : document contenant la spécification des paramètres exigés pour une application donnée du soudage, en vue d'en assurer la répétabilité (norme EN 15609).

Taux de dépôt : quantité de métal déposé par unité de temps lors du soudage.

Métal de base : métal assemblé ou rechargé par soudage, soudobrasage ou brasage.

Longitudinal : parallèle à l'axe du cordon de soudure.

Transversal : perpendiculaire à l'axe du cordon de soudure

Apport de chaleur : il est déterminant pour la vitesse de refroidissement de la soudure.

L'apport de chaleur est donné par la formule suivante :

$$Q = k\frac{U\ I}{V \times 1\ 000} \quad \text{en kJ/mm}$$

où Q est la quantité de chaleur apportée (kJ/mm), U la tension (V), I l'intensité (A), V la vitesse de soudage (mm/s) et k le facteur de rendement thermique.

Le facteur k de rendement thermique est lié au procédé de soudage. La norme EN 1011-1 spécifie un facteur k égal à 0,8 pour le soudage MMA (manuel à l'arc) et le soudage MIG/MAG (sous protection gazeuse), un facteur k égal à 1 pour le soudage à l'arc submergé, et un facteur k égal à 0,6 pour le soudage TIG.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Zone affectée thermiquement (ZAT) : zone du métal de base qui n'a pas fondu mais dont les propriétés ont été affectées par la chaleur dégagée lors du soudage (figure 1.14).

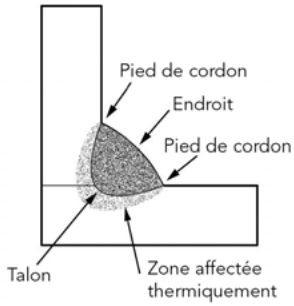

Figure 1.14 Schéma de principe d'une soudure d'angle.

Épaisseur de la soudure : détermine, avec la largeur, la taille de la soudure d'angle (voir figure 1.15, où g = gorge de soudure et l = largeur du cordon).

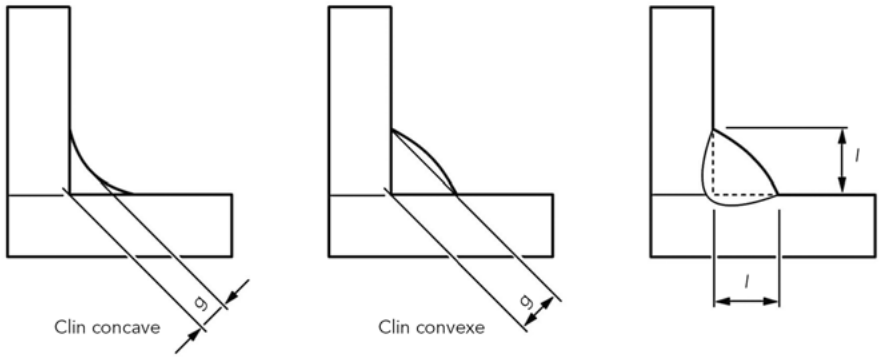

Figure 1.15 Gorge (g) et largeur/hauteur (l) du cordon d'une soudure d'angle.

1.2.3 Types de soudures et positions de soudage

Le choix du type de soudure dépend, dans chaque cas particulier, du procédé, de la nature et de l'épaisseur du matériau. L'objectif est d'obtenir la meilleure résistance mécanique et la meilleure qualité possibles de la soudure, en limitant les coûts. Pour limiter les coûts, il faut limiter (i) la quantité de métal d'apport (le coût est proportionnel au volume de la soudure), (ii) l'apport de chaleur (plus il est important et

plus il risque d'y avoir des problèmes de résistance aux chocs et de déformation), et (iii) le travail de préparation (on choisira de préférence des types d'assemblages dans lesquels les surfaces font partie de la pièce à souder, et donc généralement une soudure d'angle).

La figure 1.16 réunit les principaux termes clés en matière de technologies d'assemblage et la figure 1.17 montre les assemblages les plus courants.

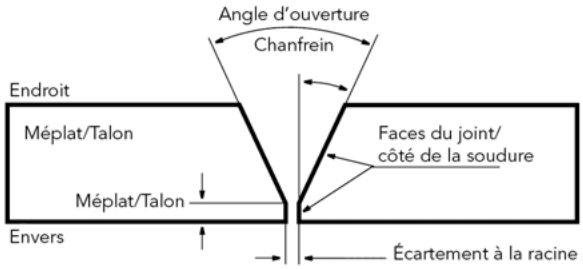

Figure 1.16 Terminologie des assemblages.

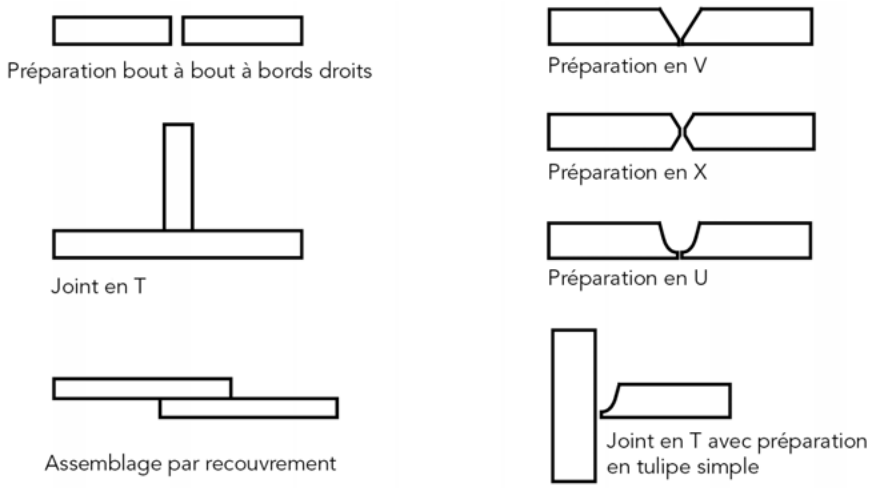

Figure 1.17 Différents types d'assemblages.

1.2.4 Positions de soudage/des soudures

Le soudage peut se faire à plat, en corniche, au plafond ou en position verticale. Dans ce dernier cas, il peut se faire de bas en haut (en montant – PF) ou de haut en bas (en descendant – PG) (figure 1.18). Les soudures d'angle se font en corniche ou à plat

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

mais aussi dans les positions intermédiaires PB et PD, comme sur les figures 1.18 et 1.19. Des dénominations correspondantes existent pour le soudage de tubes.

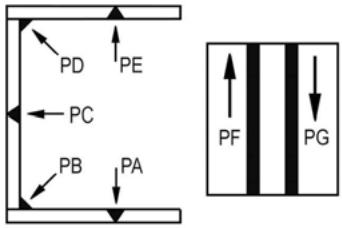

Figure 1.18 Dénominations des positions de soudage pour les soudures bout à bout.

PA : à plat. PB : d'angle en position horizontale. PC : en corniche. PD : d'angle au plafond. PE : au plafond. PF : verticale montante. PG : verticale descendante

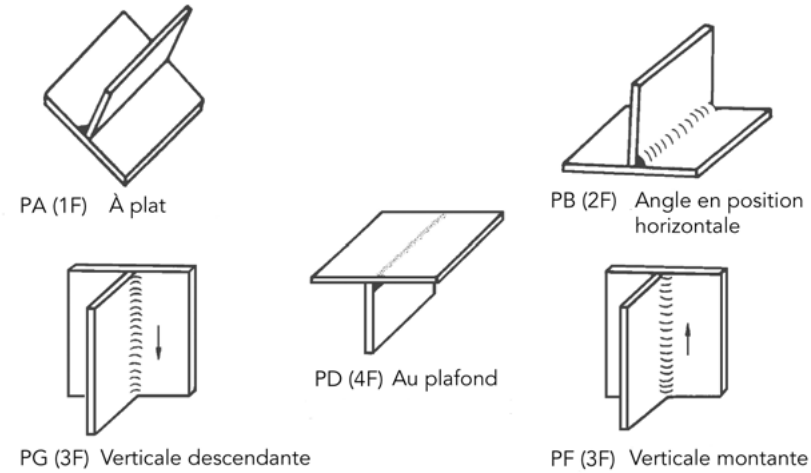

Figure 1.19 Dénominations des positions de soudage pour les soudures d'angle, conformément à la norme EN ISO 6947.

1.3 Pour en savoir plus

S. Hughes. – *A quick guide to welding and weld inspection*, Woodhead Publishing Limited, 2009.

K. Weman – *A history of welding*, Svetsaren, Vol. 59, N° 1, 2004.

2 Soudage au gaz

2.1 Introduction

Le soudage au gaz (oxyacétylénique) est l'un des procédés de soudage les plus anciens et a longtemps été le plus répandu. Beaucoup moins utilisé aujourd'hui, il a toujours le triple avantage de sa polyvalence, de sa simplicité de mise en œuvre et du faible coût du matériel nécessaire. Il convient parfaitement pour les travaux de réparation ou de construction ou encore pour le soudage de tubes et de structures faits de matériaux (comme la fonte) particulièrement sujets à la fissuration, avec des parois de 0,5 à 6 mm d'épaisseur. Il est également très utilisé pour la soudure de métaux non ferreux ainsi que pour le placage ou le rechargement dur, mais aussi pour le coupage, le chauffage et le redressage à la flamme.

L'apport de chaleur est fourni par la combustion d'acétylène dans l'oxygène. La température de la flamme atteint environ 3 100 °C. Cette température est inférieure à celle de l'arc et la chaleur est moins concentrée. Le soudeur dirige la flamme sur les surfaces du joint, qui fondent. Un métal d'apport peut alors être ajouté selon le besoin. Le bain de fusion est protégé de l'air par la zone réductrice et par la zone secondaire de la flamme. Il faut par conséquent retirer la flamme progressivement à la fin de l'opération de soudage.

La flamme étant moins concentrée, le refroidissement est plus lent, ce qui constitue un avantage certain lorsqu'on soude des aciers, qui ont tendance à durcir. Mais, en même temps, le processus étant relativement lent, l'apport de chaleur est plus important et les risques de tensions thermiques et de déformation augmentent.

2.2 Matériel

Le matériel de soudage au gaz inclut (figure 2.1) :

- des bouteilles de gaz ;

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

- des manomètres-détendeurs/régulateurs ;
- des flexibles à gaz ;
- des dispositifs anti-retour de flamme ;
- des torches de soudage.

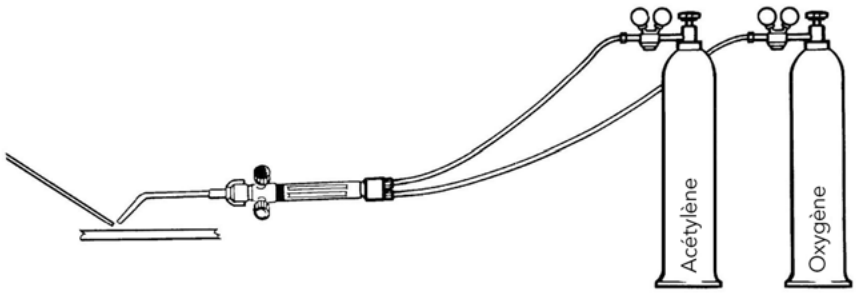

Figure 2.1 Matériel de soudage au gaz.

2.2.1 Les gaz de soudage et leur stockage

Les bouteilles de gaz inflammables doivent être stockées en extérieur ou dans des espaces bien ventilés. Une signalisation spécifique doit être apposée à l'extérieur de la zone de stockage. Les bouteilles d'acétylène et d'oxygène doivent être soigneusement séparées.

Acétylène

L'acétylène (C_2H_2) est le principal gaz combustible utilisé pour le soudage au gaz. Le tableau 2.1 donne ses principales propriétés par rapport aux autres gaz combustibles. Il se compose de 92,3 % de carbone et de 7,7 % d'hydrogène. Sa combustion dans l'oxygène produit une température de combustion plus élevée que celle de tout autre hydrocarbure gazeux et sa flamme est bien plus concentrée que celle de tous les autres gaz.

Tableau 2.1 Principales caractéristiques des gaz combustibles.

Gaz	Densité (kg/m³)	Valeur calorifique (MJ/kg)	Température de flamme (°C)	Vitesse de combustion (m/s)
Acétylène	1,07	48,2	3 100	13,1
Propane	2,00	46,4	2 825	3,7
Hydrogène	0,08	120	2 525	8,9

L'acétylène est hautement inflammable. Il forme avec l'air un mélange très explosible à des concentrations allant de 2,3 à 82 %. Il faut éviter soigneusement toute fuite des bouteilles ou des tuyaux.

Même en l'absence d'air, l'acétylène sous pression est chimiquement instable et peut, dans certaines conditions, exploser en donnant du carbone et de l'hydrogène. On le stocke dans des bouteilles remplies d'un matériau poreux saturé d'acétone, qui absorbe le gaz sous une pression de 2 MPa. Une décomposition explosive peut se produire dans les tuyaux partant de la bouteille si la pression y dépasse 1,5 MPa.

Oxygène

L'oxygène est stocké sous pression ou à l'état liquide. En bouteille, il est stocké sous 20 MPa. Les gros utilisateurs le reçoivent généralement sous forme d'oxygène liquide.

Dirigé vers un élément inflammable, l'oxygène pur s'enflamme aisément. Les raccords doivent être propres et bien serrés afin d'éviter le perlage. Ils ne doivent jamais être huilés ou graissés.

2.2.2 Détendeurs-régulateurs

Le gaz est stocké dans une bouteille à haute pression (cette pression varie selon le remplissage). Le détendeur-régulateur débite le gaz à la pression d'utilisation et assure un débit constant en dépit des variations de contre-pression dues au réchauffement de la torche de soudage.

2.2.3 Tuyaux à gaz (flexibles)

Les tuyaux à gaz (flexibles) sont de couleur rouge pour l'acétylène et bleue pour l'oxygène. Pour éviter les erreurs de branchement, le raccord d'acétylène est fileté à gauche, alors que le raccord d'oxygène est fileté à droite.

2.2.4 Dispositif anti-retour de flamme

Le retour de flamme (figure 2.2), caractérisé par le claquement qui l'accompagne, est synonyme d'une rentrée de la flamme dans la torche. Il se produit lorsque le débit de gaz ne suit plus la vitesse de combustion de la flamme, de telle sorte que le front de flamme recule. Lorsqu'un retour de flamme, reconnaissable au sifflement qu'il produit, se prolonge, il faut fermer immédiatement toutes les vannes et robinets de gaz.

En fait, il y a retour de flamme lorsque l'oxygène et l'acétylène remontent dans les tuyaux – lorsque de l'oxygène pénètre dans le tuyau d'acétylène et que les deux gaz forment un mélange explosif. Un dispositif anti-retour de flamme fixé sur le régulateur arrête le front de flamme et empêche la flamme d'atteindre la bouteille d'acétylène et de provoquer une explosion.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.