

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان
**Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE**



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : génie mécanique

Spécialité : assemblages soudés et matériaux

Par : SOLTANI Adda

Sujet

Présentation des gaz de protection dans les procédés de soudage MIG, MAG et TIG

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mr. BELKAID Mohammed
Mr. BENSAID Ismail
Mr. ACHOUI Mohammed

MA "A"
Pr
MCB

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen

Président
Examineur
Encadrant

Année universitaire : 2022 /2023

Remerciements

Tout d'abord, nous devons remercier « ALLAH » le tout puissant de nous avoir donné tout le courage et la santé pour achever ce travail .

A Dr ACHOUÏ Mohammed, pour nous avoir suivi durant notre travail dans le cadre de ce mémoire, pour ces conseils précieux, pour sa disponibilité et la compétence de son encadrement, qu'elle trouve ici notre reconnaissance et notre respect.

Un grand merci à monsieur BENRAMDANE Mohammed, chef de département de génie mécanique pour tous ces conseils et son encouragement.

Enfin nous remercions nos familles et nos amis pour leur soutien moral et leurs aides, ainsi que tous ce qui nous avaient soutenu et aidé tout au long de ce travail.

sommaire

CHAPITRE I : Généralités sur le soudage

I.1.Introduction.....	1
I.2. Définitions et classification des procédés de soudage	1
I.3. procédé de soudage.....	3
I.3.1. Définition MIG /MAG	3
I.3.2. Principe du procédé de soudure MIG /MAG	5
I.3.3. Avantages et inconvénients du procédé de soudage MIG/MAG	5
I.3.4. Installation d'une unité de soudage MIG/MAG.....	6
I.3.5 Equipment	6
I.3.6. Le pistolet à souder	7
I.3.7. Dévidage du fil d'apport.....	8
I.3.8. Choix des diamètres du fil d'apport	8
I.4. Définition du procédé de soudure TIG (141)	9
I.4.1. Principe et définition de la soudage TIG (141)	9
I.4.2. Paramètres ayant une influence sur la soudage TIG.....	10
I.4.3 Utilisations de la soudage TIG.....	10
I.4.4 Avantages et inconvénients en soudage TIG.....	10
I.4.5.Description d'un poste de soudage TIG.....	11
I.4.6. Buses utilisées en soudage TIG.....	11
I.4.7. Les électrodes non fusibles:	12
I.4.8. Affutage des électrodes en tungstène.....	12
I.4.9. Type de courant en soudage TIG.....	13
I.4.10. Réglage de poste à souder TIG.....	13
I.4.11. Le TIG en soudage pulsé.....	13
I.4.12.Gaz utilisés en procédé TIG.....	13
I.5. Soudage par points	14
I.5.1. Principe.....	14
I.5.2.Déroulement du cycle de soudage.....	14
I.6. Soudage à la molette	15
I.6.1.Le Principe.....	15

I.7.Soudage plasma	16
I.8.Les différents types d'assemblages soudés	17
I.8.1 Assemblage bout à bout.....	17
I.8.2 Assemblage en coin (angle intérieur et angle extérieur)	18
I.8.3 Assemblage à bords relevés	18
I.8.4 Assemblage en T	18
I.8.5 Assemblage à clin ou à recouvrement.....	18
I.8.6 Assemblage avec couvre-joints	18
I.9.Les défauts des soudages	18
I.9.1.Introduction	18
I.9.2. Les fissures	18
I.9.2.1.Généralités	18
I.9.2.2. Orientation des fissures.....	19
I.9.2.2.1.Les fissures longitudinales	19
I.9.2.2.2. Les fissures	20
I.9.3 Manque de fusion.....	20
I.9.3.1. Localisations possibles des manques de fusion.....	20
I.9.3.2. Manque de fusion dans le flanc de la soudure	21
I.9.3.2.1. Définition.....	21
I.9.3.2.2. Causes possibles	21
I.9.3.2.3. Méthodes de détection	22
I.9.3.2.4. Méthodes de réparation	22
I.9.3.2.5. Mesures préventives	22
I.9.4. Manque de fusion entre passes	22
I.9.4.1. Définition.....	22
I.9.4.2. Causes possibles.....	22
I.9.6. Manque de fusion à la racine de la soudure.....	22
I.9.6.1. Définition	22
I.9.6.2. Causes possibles	23
I.9.6.3. Méthodes de détection	23
I.9.6.4. Méthodes de réparation	23
I.9.6.5. Mesures préventives	23
I.10. Les déformations de soudage.....	23
I.11. Les principaux risques liés au soudage.....	25

I.12. Règles de sécurité et principales normes	25
--	----

CHAPITRE II : LES GAZ DE PROTECTION

II.1.Histoire sur les gaz de protection	28
II.2 Introduction.....	28
II.3.Généralités physiques	29
II.3.1 Soudage TIG ou Plasma	29
II.3.2 Soudage MIG MAG.....	29
II.4 .Rôle du gaz de protection	29
II.4.1 Protection endroit.....	30
II.4.2 Protection dite secondaire	30
II.4.3 Protection envers.....	30
II.4.4 Soudage en boîte à gants	30
II.5. Famille des gaz de soudage.....	31
II.5.1 Gaz inert.....	31
II.5.2 Gaz oxydant.....	31
II.5.3 Gaz réducteur	32
II.6.Physique des gaz de soudage	32
II.7. Le Gaz de protection en soudage	34
II.7.1.Le CO ² (Gaz pur)	34
II.7.1. Avantages et inconvénients.....	34
II.7.2 L'Argon + CO ² (Mélange binaire)	34
II.7.2.1 Avantages et inconvénients.....	34
II.7.3 L'Argon + O ² Mélange binaire)	35
II.7.3.1 Avantages et inconvénients.....	35
II.7.4 Argon + CO ² +O ² (Mélange ternaire)	35
II.7.4.1 Avantages et inconvénients.....	35
II.8.Choix du gaz et influence du gaz sur le cordon	35
II.9. Gaz et mélanges de gaz pour soudage (MIG MAG et TIG) et protection de la racine	36
II.9.1. Les gaz en soudage MIG.....	37
II.9.2. Les gaz en soudage MAG	37
II.9.2.1 Les mélanges en soudage MAG.....	37
II.9.2.1.1 Argon/Oxygène	38

II.9.2.1.2 Argon/Dioxyde de carbone.....	38
II.9.2.1.3 Argon/Dioxyde de carbone/Oxygène	39
II.9.2.1.4 Argon/Dioxyde de carbone/Hydrogène.....	39
II.9.2.1.5 Mélanges avec addition d'hélium	39
II.9.3 Les gaz en soudage TIG	40
II.9.3.1 Argon et arcal 1	40
II.9.3.2 Hélium et mélanges argon hélium	40
II.9.3.3 Addition d'hydrogène	41
II.9.3.4 Azote	42
II.9.4 Gaz et matériaux en soudage TIG.....	42
II.9.4.1 Aciers au carbone non et faiblement alliés	42
II.9.4.2 Aciers inoxydables	42
II.9.4.3 Aciers austénoferritiques	43
II.9.4.4 Bases nickel	43
II.9.4.5 Aluminium et alliages d'aluminium.....	44
II.9.4.6 Titane – Zirconium - tantale et leurs alliages	44
II.9.5 Influences des composants du gaz de protection	44
II.10.Couleur des ogives des bouteilles de gaz	46

CHAPITRE 3 : GAZ UTILISE DANS PROCÉDES MIG MAG TIG :

III.1.Introduction	49
III.2.Informations supplémentaires sur les différents gaz de protection utilisés dans les procédés MIG et MAG et TIG	49
III.2.1.Argon	49
III.2.2.Hélium	50
III.2.3. Dioxyde de carbone (CO ₂)	51
III.3.les gaz les plus utilise	51
III.3.1.POUR LE PROCÉDE DE SOUDAGE MIG.....	51
III.3.2.POUR LE PROCÉDE DE SOUDAGE MAG	52
III.3.3.POUR LE PROCÉDE DE SOUDAGE TIG.....	53
III.4.Déférence entre gaz actif et inert	54
III.5.Conclusion	55
CONCLUSION GENERALE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	

Liste de figures

CHAPITRE I :

Figure 1 : Classification des procédés de soudage.....	3
Figure 2 : Soudage MIG/MAG.....	4
Figure 3 : Principe du procédé de soudage MIG (131)/MAG (135)	5
Figure 4: composition du poste à souder.....	6
Figure 5: les différents composants de l'équipement de soudage MIG/MAG.....	6
Figure 6: Pistolet de soudage avec flexible.....	7
Figure 7:Dévidage du fil d'apport	8
Figure 8:Principe de soudage TIG	10
Figure 9:Description d'un poste de soudage TIG	11
Figure 10: les buses TIG	11
Figure 11: la protection gazeuse.....	12
Figure 12.a :affutage correct	13
Figure 12.b:mauvais affutage	13
Figure 13 : Principe du soudage par points.....	14
Figure 14 : Les différentes phases d'un cycle de soudage.....	15
Figure15:schéma de soudage à la molette	16
Figure 16:soudage plasma.....	17
Figure 17: La fissure longitudinale.....	19
Figure 18:La fissure transversale.....	20
Figure 19: Localisations possibles des manques de fusion	21
Figure20:Manque de fusion dans le flanc de la soudure.	21
Figure 21:Manque de fusion entre passes.	22
Figure22: Manque de fusion à la racine de la soudure.....	23
Figure 23 : Déformations de soudage de joint V	24
Figure 24: Déformations de soudage d'assemblages en T.....	24

CHAPITRE II:

Figure 25:La faible part des produits de soudage dans les coûts de fabrication.....	31
Figure 26.a:Arc dans atmosphère d'argon.....	33
Figure 26.b : arc dans une atmosphère d'hélium ou d'oxyde de carbone	33
Figure 27: pénétration en fonction de la tension d'arc.....	34
Figure 28 :Couleur des ogives des bouteilles de gaz.....	46

Liste de Tableaux

Tableau 01 : Effets sur la présence de déformations.....	25
Tableau 02:les propriétés physiques des gaz de protection.....	32
Tableau 03: Gaz et mélanges de gaz pour soudage et protection de la racine.....	36
Tableau 04 :application gaz de protection.....	45

Liste des Symboles et abréviations

131 : Metal Inerte Gaz

135 : Metal Actif Gaz

141 : Tungsten Inerte Gaz

MIG : Soudage à l'arc sous protection de Gaz Inerte

MAG : Soudage à l'arc sous protection de Gaz Actif

GMAW : Gas Metal Arc Welding

TIG : Tungstène Inerte Gaz Soudage à l'arc en atmosphère Inerte

GTAW : Gas Tungsten Arc Welding

ARCAL : ARC Air Liquide

ARCAL 1 : gaz CO₂ dans le soudage MAG

ARCAL 1 : gaz Argon dans le soudage TIG/MIG

ARCAL 5 : mélange gaz argon (82) et CO₂ (18)

ARCAL 10 : mélange gaz Ar (97.6) et He (2.4)

ARCAL 11 : mélange gaz Ar (75) et He (20) et H₂ (5)

ARCAL 14 : mélange gaz Ar (96) et CO₂ (3) et O₂ (1)

ARCAL 15 : mélange gaz Ar (95) et H₂ (5)

ARCAL 21 : mélange gaz Ar (92) et CO₂ (8)

ARCAL 22 : mélange gaz Ar (98) et O₂ (2)

ARCAL 23 : mélange gaz Ar (91) et CO₂ (5) et O₂ (4)

ARCAL 31 : mélange gaz Ar (95) et He (5)

ARCAL 32 : mélange gaz Ar (80) et He (20)

ARCAL 35 : mélange gaz Ar (50) et He (50)

ARCAL 37 : mélange gaz Ar (30) et He (70)

ARCAL 39 : mélange gaz Ar (88) et He (10) et N₂ (2)

ARCAL 110 : mélange gaz Ar (96) et He (3.2) et H₂ (0.8)

ARCAL 121 : mélange gaz Ar (81) et CO₂ (1) et HE (18)

ARCAL 129 : mélange gaz Ar (91.5) et CO₂ (1.8) et He (5) et N₂ (1.7)

ARCAL 391 : mélange gaz Ar (98) et N₂ (2)

ملخص

يلعب الغاز الواقي دوراً مهماً في عملية اللحام (ميغ/ماغ /تنغستن) . حيث يساعد في حماية حوض اللحام والقطب الكهربائي من الهواء المحيط

في اللحام، يكون غاز الحماية عادةً خليطاً من الأرجون وثنائي أكسيد الكربون و / أو الهيليوم. يتم تمرير الغاز عبر شعلة اللحام لإنشاء غلاف واقٍ حول قطب السلك وحوض اللحام. وبالتالي يمنع الغاز تلوث حوض اللحام بالأكسجين والغازات الأخرى من الهواء المحيط، مما ينتج عنه لحام أنظف وأقوى.

في لحام التنغستن، يستخدم الأرجون عمومًا كغاز واقٍ. يتم تمرير الغاز عبر شعلة اللحام لإنشاء غلاف واقٍ حول قطب التنغستن وحوض اللحام. كما هو الحال في اللحام (ميغ/ماغ)،

يعتمد اختيار غاز الحماية على عدة عوامل، مثل المادة المراد لحامها وسماكة المادة وموضع اللحام ومتطلبات جودة اللحام. يمكن أن يؤدي الاختيار غير الصحيح لغاز الحماية إلى لحامات ذات جودة رديئة ومشاكل مثل المسامية والشقوق وعيوب الانصهار.

كلمات مفتاحية: ميغ , ماغ , تنغستن , غاز حماية , اللحام , عيوب اللحام

Resumé

Le gaz de protection joue un rôle crucial dans le processus de soudage MIG/MAG/TIG, car il permet de protéger le bain de fusion et l'électrode de l'air ambiant.

Dans le soudage MIG/MAG, le gaz de protection est généralement un mélange d'argon, de dioxyde de carbone et/ou d'hélium. Le gaz est acheminé à travers la torche de soudage pour créer une enveloppe protectrice autour du fil électrode et du bain de fusion. Le gaz empêche ainsi la contamination du bain de fusion par l'oxygène et d'autres gaz de l'air ambiant, ce qui permet d'obtenir des soudures plus propres et plus résistantes.

Dans le soudage TIG, l'argon est généralement utilisé comme gaz de protection. Le gaz est acheminé à travers la torche de soudage pour créer une enveloppe protectrice autour de l'électrode de tungstène et du bain de fusion. Comme dans le soudage MIG/MAG,

Le choix du gaz de protection dépend de plusieurs facteurs, tels que le matériau à souder, l'épaisseur du matériau, la position de soudage et les exigences de qualité de la soudure. Une sélection incorrecte du gaz de protection peut entraîner des soudures de mauvaise qualité et des problèmes tels que des porosités, des fissures et des défauts de fusion.

Mots clés : MIG , MAG , TIG , Gaz de protection , soudage , défaut de soudage

Abstract

Shielding gas plays a crucial role in the MIG/MAG/TIG welding process, as it helps shield the weld pool and electrode from ambient air.

In MIG/MAG welding, the shielding gas is usually a mixture of argon, carbon dioxide and/or helium. The gas is passed through the welding torch to create a protective envelope around the wire electrode and the weld pool. The gas thus prevents contamination of the weld pool by oxygen and other gases from the ambient air, resulting in cleaner and stronger welds.

In TIG welding, argon is generally used as a shielding gas. The gas is passed through the welding torch to create a protective envelope around the tungsten electrode and the weld pool.

As in MIG/MAG welding

The choice of shielding gas depends on several factors, such as the material to be welded, the thickness of the material, the welding position and the quality requirements of the weld. Incorrect selection of shielding gas can lead to poor quality welds and problems such as porosities, cracks and fusion defects

Key Words : MIG , MAG , TIG , Welding , shielding gas , Welding Defects

Introduction générale :

Ce mémoire abordera l'influence cruciale des gaz de protection dans les procédés de soudage MIG, MAG et TIG. Il mettra en évidence l'importance de la sélection appropriée des gaz de protection pour obtenir des soudures de haute qualité. Le choix des gaz et les informations présentés dans ce mémoire serviront de référence pour les étudiants à venir option assemblages soudés et contribueront à l'amélioration des pratiques de soudage.

Dans le premier chapitre, nous présentons une introduction générale aux procédés de soudage en général. Nous commençons par expliquer les principes fondamentaux du soudage et ses différentes applications industrielles. Nous aborderons également les avantages et les limites du soudage, ainsi que les différentes méthodes utilisées. L'importance du gaz de protection dans le procédé de soudage et son rôle essentiel pour obtenir des soudures de haute qualité.

Dans le deuxième chapitre, nous concentrerons sur histoire et l'influence des gaz de protection dans les procédés de soudage MIG, MAG et TIG. Nous examinerons en détail les différentes caractéristiques des gaz de protection et son impact sur la stabilité de l'arc, la formation du cordon de soudure et la protection contre les contaminations atmosphériques. Nous analyserons également les effets du choix du gaz de protection sur la pénétration, la porosité, la formation de laitier et d'autres défauts de soudure, et l'importance de la sélection appropriée des gaz de protection dans les procédés de soudage.

Dans le troisième chapitre, nous pencherons sur les gaz les plus couramment utilisés dans les procédés de soudage en étude. Nous discuterons des propriétés spécifiques de chaque gaz de protection, de leurs avantages et de leurs applications appropriées. Nous examinerons les gaz inerte tels que l'argon et l'hélium et CO₂. Des études de cas et des comparaisons seront fournies pour mettre en évidence les performances et les limites de chaque gaz de protection.

CHAPITRE I : Généralités sur le soudage

I.1.Introduction :

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.

I.2. Définitions et classification des procédés de soudage :

Dans sa définition la plus générale, le soudage consiste à réunir de façon permanente deux ou plusieurs éléments, en assurant la continuité de la matière des parties assemblées soit par chauffage, soit par pression, soit par combinaison de l'un et l'autre, avec ou sans emploi d'un matériau d'apport. L'utilisation d'un métal d'apport répond à deux besoins : il permet d'une part de combler le jeu entre les pièces assemblées, et d'autre part de changer la composition chimique et la structure cristalline de la zone fondue afin d'obtenir les performances recherchées. De manière générale, le terme « soudage » désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour la réalisation d'un assemblage, et celui de « soudure » désigne le joint formé [1, 2].

Le champ d'application du soudage ne se limite pas aux matériaux métalliques puisque l'on soude du verre, des céramiques ou des matières plastiques. Dans le cas le plus courant des matériaux métalliques, on peut distinguer le soudage autogène (assemblage de deux matériaux de base de même composition sans métal d'apport), le soudage homogène (les deux matériaux de base et le métal d'apport sont de même nature), et le soudage hétérogène (l'un au moins des trois matériaux, d'apport ou de base, est différent des autres) [3]. On associe aussi souvent au soudage deux autres techniques d'assemblage voisines, faisant appel à des mécanismes physiques de liaison de natures différentes [4] :

- **le brasage** consiste à lier les surfaces de deux pièces métalliques dans un joint à recouvrement avec jeu contrôlé (inférieur à 0,5 mm) par capillarité d'un métal d'apport fondu. Le métal d'apport utilisé doit avoir un point de fusion inférieur à celui des métaux de base, qui ne fondent pas pendant l'opération ;
- **le soudo-brasage** se rapproche du soudage par son mode opératoire (le joint est réalisé en position bout à bout ou en angle), et du brasage par l'utilisation d'un métal d'apport dont la température de fusion est plus basse que celle de l'un au moins des métaux de base.

Il existe de nombreux procédés de soudage dont les principes et la mise en œuvre sont très différents. La classification de ces différents procédés (Figure 1) peut s'effectuer selon le mode d'apport de l'énergie nécessaire pour réaliser la jonction. Pour certains, l'assemblage est obtenu par fusion locale des éléments à assembler, sans action mécanique volontaire, en utilisant une source de chaleur telle qu'une flamme ou un arc électrique.

Pour d'autres, la continuité métallique est obtenue par une action mécanique (frottement, pression), éventuellement associée à une fusion ou un échauffement localisé.

- **Soudage par pression** : Cette catégorie regroupe tous les procédés de soudage dans lesquels on obtient une soudure, en général sans métal d'apport, par l'application d'une pression ou d'une friction suivie d'une pression, suffisante pour provoquer une déformation plastique à froid ou à chaud, assurant la continuité atomique entre les bords de la soudure. [5]

- **Soudage par pression et fusion** : On retrouve dans cette catégorie le procédé de soudage par étincelage, qui consiste à fondre les surfaces à assembler à l'aide d'une décharge électrique avant d'appliquer une pression de contact, et surtout les procédés de soudage par résistance, pour lesquels le contact électrique entre les pièces est assuré par l'application d'une pression à l'aide d'électrodes de géométries variables, qui permettent ensuite de faire passer un courant de forte intensité à l'endroit du contact entre les pièces, entraînant par effet joule leur fusion.

- **Soudage par fusion sans pression** : La technique de soudage par fusion, la plus courante, consiste à fondre les bords des pièces à assembler, sans application de pression volontaire, à l'aide d'une source d'énergie produite par une flamme, un arc électrique ou un faisceau de particules. Le métal des deux pièces se mélange alors à l'état liquide, et constitue après solidification la soudure. Cette famille comprend un grand nombre de procédés, parmi lesquels les procédés de soudage à l'arc, qui sont les plus utilisés.

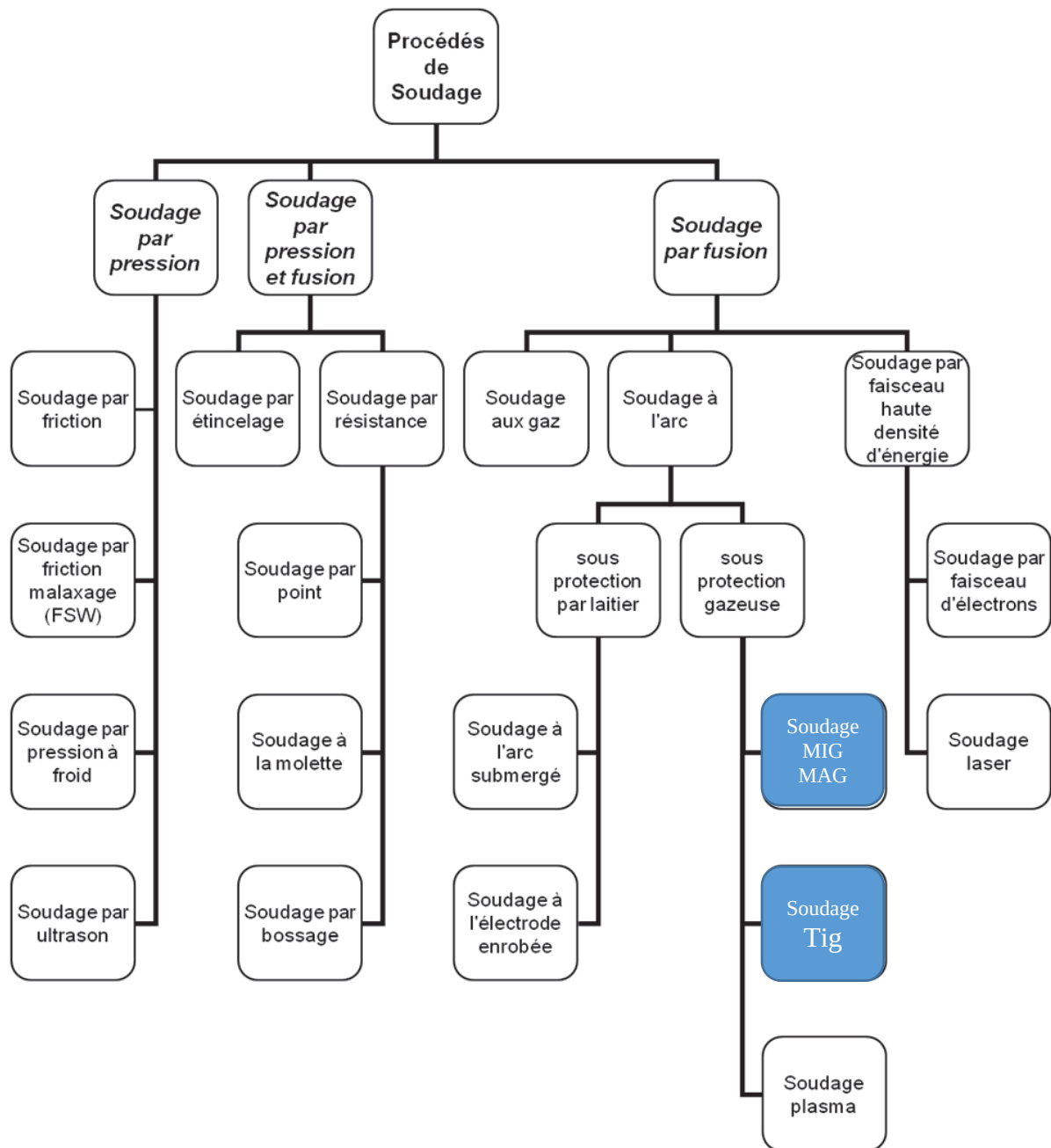


Figure 1 : Classification des procédés de soudage. [5]

I.3. Procédés de soudage:

I.3.1. Définition MIG /MAG [6]:

La soudure sous protection de gaz inerte et active est un procédé de soudage très utilisé de nos jours. Pour ces procédés, on crée un arc électrique entre la pièce à souder et le fil d'apport (de Ø 0,6 à Ø 2,4 mm).

CHAPITRE I Généralités sur le soudage

Lorsque l'arc est obtenu, on dévide ce fil d'apport à vitesse constante et continu dans le bain de fusion généré par la puissance d'énergie de cet arc. On obtient un cordon de soudure par mélange du métal d'apport et du métal de base, en fusion pendant l'arc, comme le montre la figure 2

Les paramètres influant sur la réalisation du cordon de soudure sont :

- la vitesse de fil (l'intensité)
- le débit en gaz
- le diamètre du fil électrode
- la position de soudage
- la préparation des pièces (chanfriers)
- la dimension et les matériaux à souder

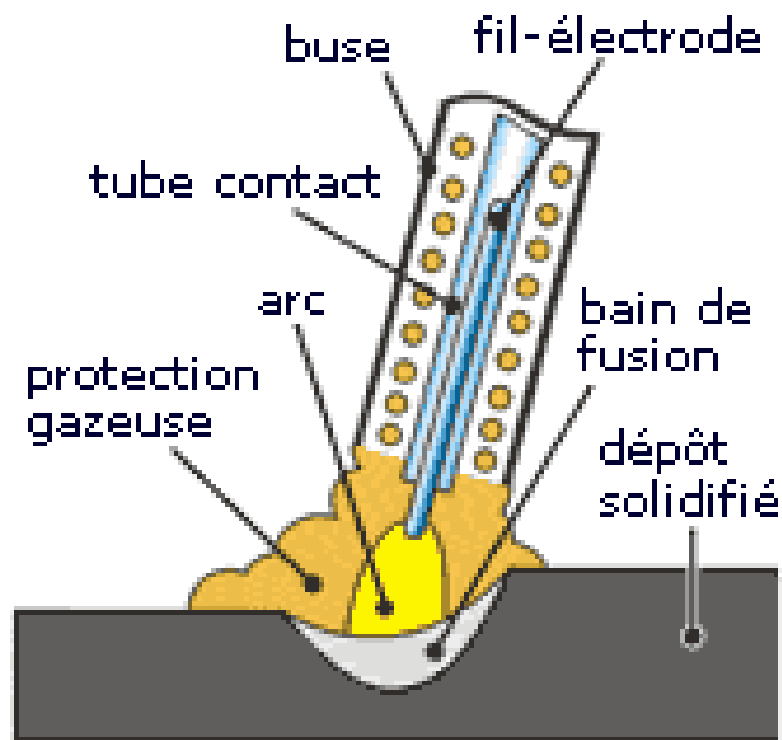


Figure 2 : Soudage MIG/MAG [6]

I.3.2. Principe des procédés MIG, MAG :

la figure 3 montre le principe des procédés de soudage MIG, MAG.

- 1 : sens de déplacement
- 2 : tube de contact
- 3 : Electrode
- 4 : Gaz de protection
- 5 : métal en fusion
- 6 : Métal soudé solidifié
- 7 : métal de base

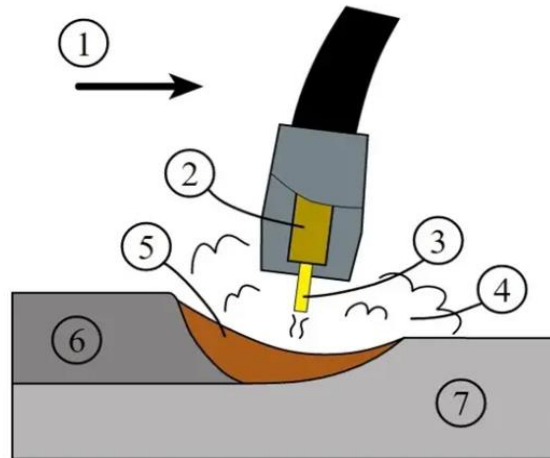


Figure 3: Principe du procédé de soudage MIG (131)/MAG (135) [6]

Lorsque le soudeur actionne la gâchette, celui-ci actionne le dévidage du fil, la sortie du gaz et en même temps, il ferme le circuit électrique qui permet le passage du courant. Si le fil est suffisamment proche d'une pièce en contact avec la masse, ils créent un arc électrique d'une énergie suffisante pour fondre la matière. Le métal d'apport peut ainsi se mélanger à la matière et ainsi grossir la partie fondue. Le tout s'exécute ou protection gazeuse.

I.3.3. Avantages et inconvénients des procédés de soudage MIG/MAG :

- Rentabilité du procédé
- Vitesse très élevée en soudage
- Taux de dépôt de métal élevé
- Longueur possible d'un cordon sans point d'arrêt très important
- Pas de décrassage du laitier
- Plage d'épaisseurs de soudage très importante
- Possibilité de soudage dans toutes les positions
- Contrôle relativement aisé de la pénétration en régime de court-circuit
- Aspect de cordon correct
- Procédé automatisable et utilisé en robotique

I.3.4. Installation d'une unité de soudage MIG/MAG :

- Bobine et système de dévidage
- Système de dévidage et les galets lisses ou crantés
- La torche
- L'unité de réglages

La figure 4 qui montre la composition du poste à souder :



Figure 4: composition du poste à souder [6]

I.3.5 Equipement :

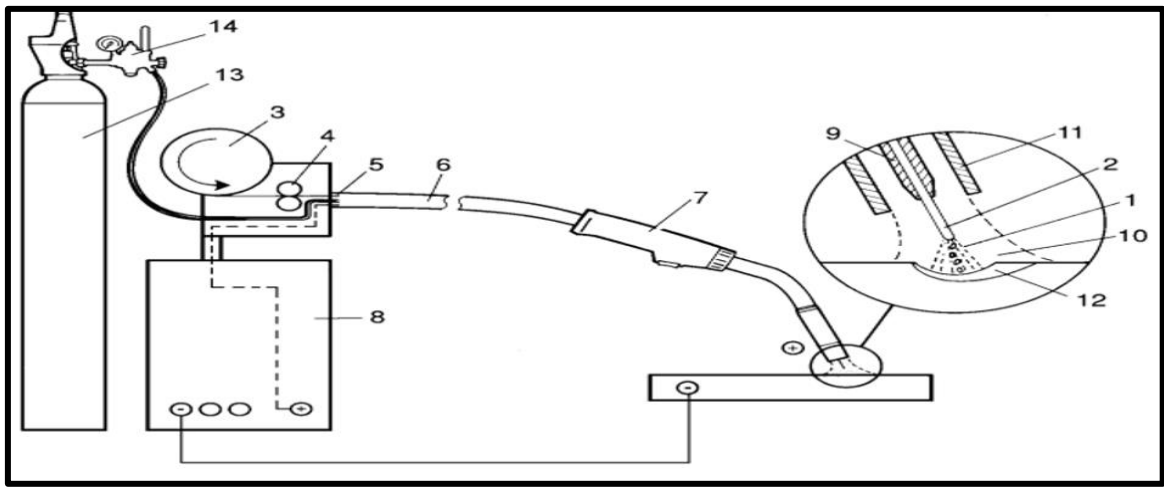


Figure 5: les différents composants de l'équipement de soudage MIG/MAG[6]

L'arc (1) est amorcé entre la pièce et un fil-électrode métallique (2) qui est continuellement alimenté en avant dans l'arc. Le fil est fourni sur une bobine (3) et est amené au pistolet de soudage par les rouleaux d'entraînement (4), qui poussent le fil à travers un conduit flexible (5)

dans le paquet de tuyaux (6) jusqu'au pistolet (7). L'énergie électrique pour l'arc est transmise au fil à travers le tube de contact (9) dans le pistolet de soudage. Ce tube de contact est normalement connecté au pôle positif de la source d'alimentation et la pièce au pôle négatif. L'amorçage de l'arc complète le circuit. La buse de gaz (11) qui entoure le tube de contact (9) fournit un gaz de protection (10) pour la protection de l'arc et du bain de soudure (12).

Le fil est normalement solide mais peut également être tubulaire, un fil fourré rempli de flux ou de poudre métallique. L'alimentation en gaz est normalement un tube à gaz (13) auquel un régulateur et un indicateur de débit de gaz (14) sont connectés. Le gaz de protection est acheminé à travers le faisceau de flexibles jusqu'au pistolet de soudage.

À un courant supérieur à 250-300 A, le refroidissement par eau est souvent utilisé pour le pistolet et le câble d'alimentation en courant. Dans ce cas, une unité de refroidissement est nécessaire.

I.3.6. Le pistolet à souder :

Le pistolet de soudage avec faisceau de flexibles est un élément essentiel de l'équipement de soudage. Il amène le gaz de protection, le fil et le courant de soudage à l'arc.

Il est difficile de concevoir un pistolet de soudage robuste pour cet environnement difficile tout en le rendant suffisamment petit et léger pour une utilisation dans des espaces étroits. Les pistolets de soudage pour des courants plus élevés sont souvent refroidis à l'eau (figure 6):

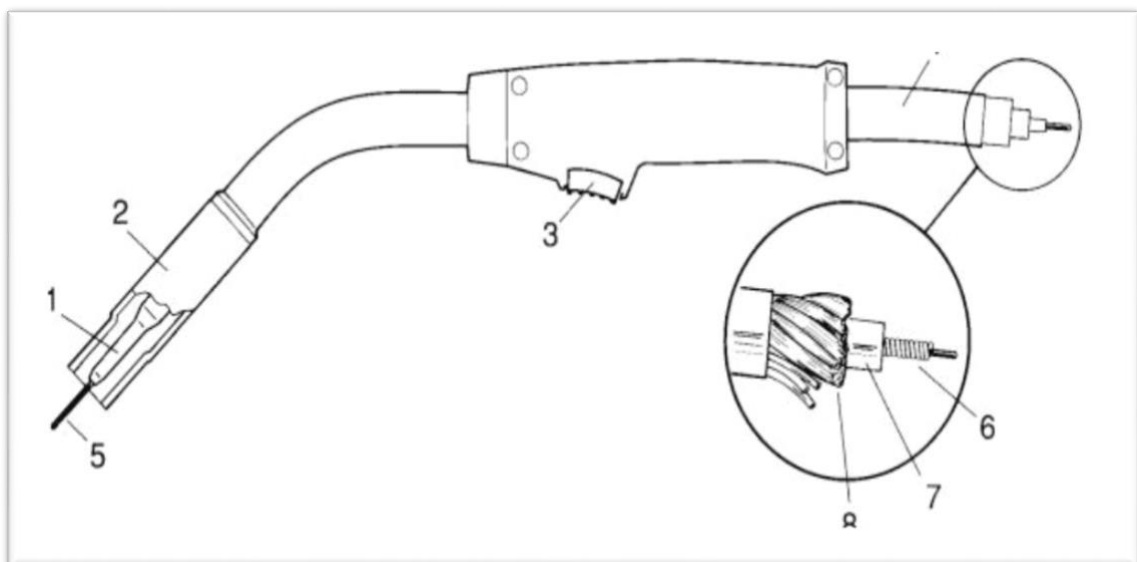


Figure 6 : Pistolet de soudage avec flexible. [6]

I.3.7. Dévidage du fil d'apport [7]:

En fonction des postes de soudage utilisés, nous pouvons avoir des systèmes de dévidage qui peuvent être :

- fil poussé (le plus courant)
- fil tiré
- fil poussé et tiré

L'entraînement du fil d'apport se fait par rotation de galets en général situés dans le Poste à souder MIG/MAG, à la sortie de la bobine. Les galets motorisés exercent une pression sur le fil et la rotation permet la circulation du fil dans le conduit de la torche. Une pression trop importante des galets peut écraser le fil . Comme représenter dans la figure 7 :



Figure 7 : Dévidage du fil d'apport [7] .

I.3.8. Choix des diamètres du fil d'apport :

Le diamètre du fil s'effectue suivant les travaux de soudage à réaliser :

Exemples :

- **Carrosserie** : Ø 0,6 mm (40 à 100 A environ)
- **Tuyauterie de faible épaisseur et tôlerie fine** : Ø 0,8 mm (60 à 180 A environ)
- **Soudage courant et passes de pénétrations** : Ø 1,0 mm (100 à 300 A environ)
- **Soudage d'épaisseurs 6 – 8 mm** : Ø 1,2 mm (150 à 350 A environ)
- **Soudage d'épaisseurs de 10 mm environ** : Pour Ø 1,6 mm (200 à 700 A environ)

➤ Souder en poussant ou en tirant

En soudage MIG (ou MAG), on peut souder en poussant ou en tirant la torche de soudage. Bien que chacune des solutions présentent des avantages et des inconvénients, souder en poussant semble la méthode la mieux adaptée à un soudage correct si on a la possibilité.

➤ Souder en poussant (torche poussée) :

La pièce est bien préchauffée par l'arc, ce qui améliore le mouillage. Le bain de fusion est plus visible car il n'est pas caché par la torche. Le cordon est plus large et moins aplati (la pénétration est moins prononcée). En poussant, (angle de 70 à 80° environ), cordon plutôt aplati.

I.4. Définition du procédé TIG (141) [8]:

Cette soudure est facile à utiliser. Quand un soudeur réalise ce type de soudage, il mettra en œuvre ces qualités et son expérience. Dextérité, connaissances, intuition, souder l'aluminium, l'inox ou l'acier est un défi.

I.4.1. Principe et définition :

Lorsque le soudeur actionne la gâchette, celui-ci actionne d'une part la sortie du gaz, et en même temps, il ferme le circuit électrique qui permet le passage du courant. Si l'électrode tungstène est suffisamment proche d'une pièce en contact avec la masse, il se crée un arc électrique d'une énergie suffisante pour fondre la matière. Le soudeur apporte manuellement (ou automatiquement sur certaines installations) le métal d'apport (d'un diamètre d'environ 0,8 mm à 4 mm) pour le mélanger à la matière et ainsi grossir la partie fondue en créant le cordon de soudure. Le tout s'exécute sous protection gazeuse.

Ce type de soudage a la particularité d'être exécutée sous protection de gaz inerte avec une électrode non fusible et réfractaire (en tungstène). Ce procédé s'appelle Tungsten Inert Gas (TIG) ou Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) aux USA, WIG en Allemagne.

Le poste utilisé est une machine qui est désormais un procédé très prisé des entreprises, pour sa précision notamment. Les postes peuvent aussi être adaptés pour souder en MMA. L'amorçage se fait souvent soit en haute fréquence soit au toucher (Lift). De plus en plus utilisées les pédales permettent de gérer son intensité directement avec le pied et libèrent la dextérité du poignet.. Comme représenté dans la figure 8 :

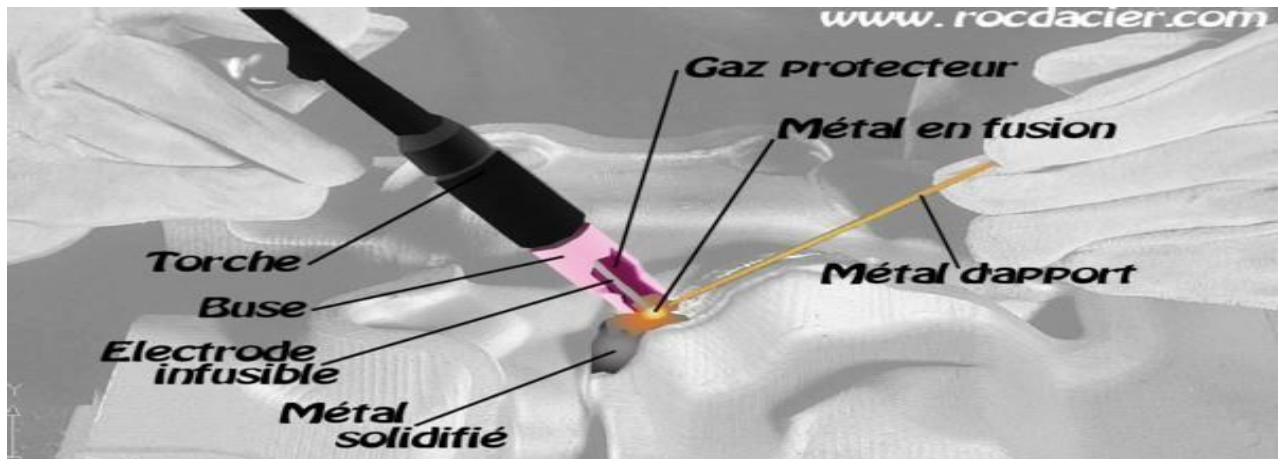


Figure 8 : Principe de soudage TIG [8]

I.4.2. Paramètres ayant une influence sur le soudage TIG :

- la vitesse de soudage (avance du soudeur)
- le choix et le débit du gaz
- le choix et le débit du métal d'apport
- le choix, l'affûtage et le diamètre de l'électrode réfractaire
- la position de soudage
- la préparation
- la dimension et la nature des matériaux à souder.

I.4.3 Utilisations de la soudage TIG :

- la réalisation d'ouvrages alimentaires
- la chaudronnerie d'acier inoxydable
- l'industrie aéronautique et spatiale
- la carrosserie
- plus généralement, les entreprises travaillant des matériaux à bases d'aciers inoxydables et d'alliages légers.

I.4.4 Avantages et inconvénients en soudage TIG :

- large gamme d'épaisseurs à souder
- simple d'emploi
- travail précis et esthétique
- peu de fumées
- soudage dans toutes les positions
- procédé automatisable.

CHAPITRE I Généralités sur le soudage

- Faible vitesse de soudage.
- apport important d'énergie

I.4.5. Description du poste de soudage TIG :

la figure 9 représentée la Description d'un poste de soudage TIG :

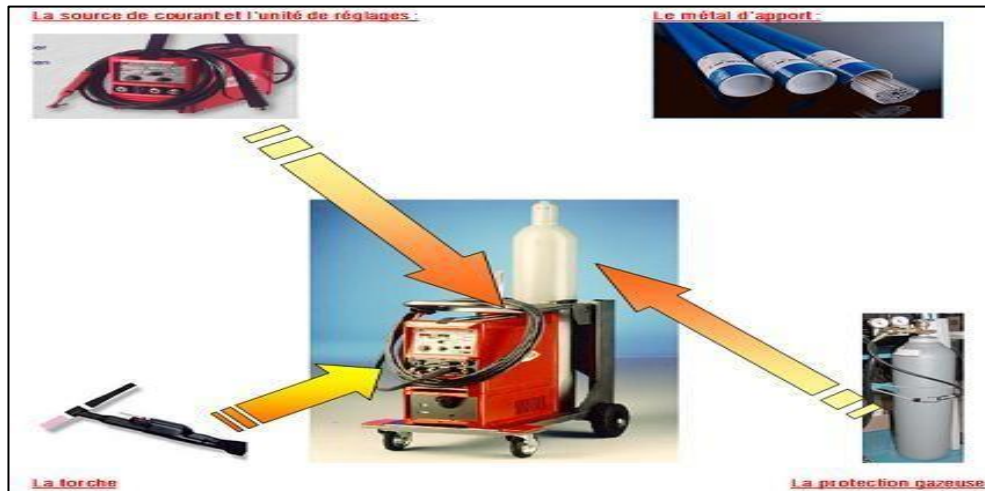


Figure 9 : Description du poste de soudage TIG [8]

I.4.6. Buses utilisées en soudage TIG :

Les buses utilisées seront soit en céramique (beige), en oxydes d'aluminium (rose clair), en nitrure de silicium (gris), Pyrex (transparent) et auront un diamètre qui pourra varier de 6 mm à 20 mm suivant l'intensité de soudage. [8] la figure 10 montre le choix de la buse TIG :

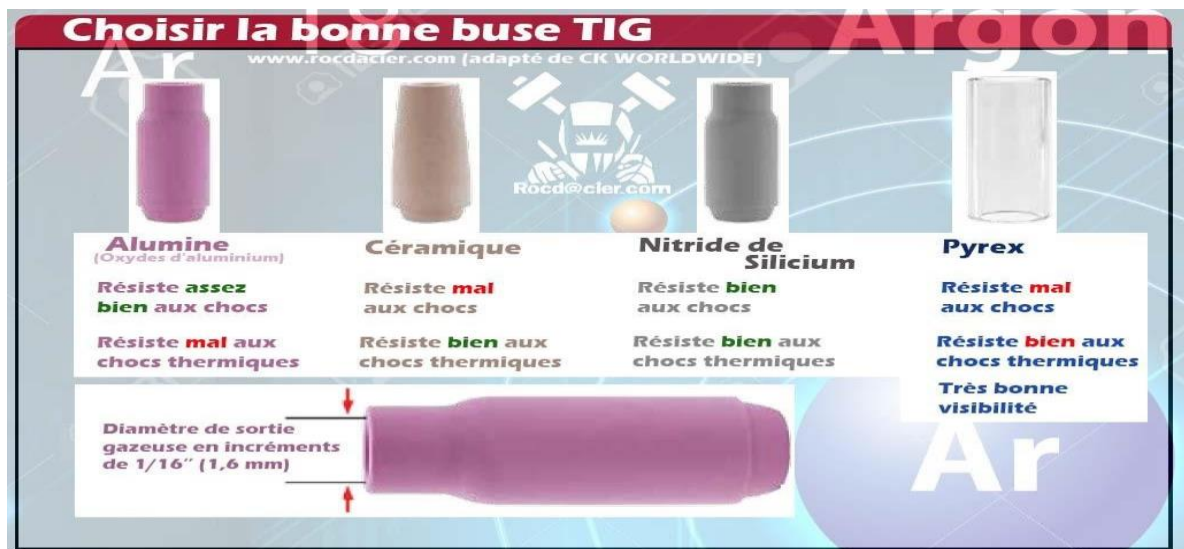


Figure 10 : les buses TIG [8]

Leurs avantages cités par les fabricants sont :

- Réduction de la consommation de gaz de 40%
- Meilleure protection gazeuse
- Stick-out augmenté à 6x le diamètre de l'électrode
- Meilleure visibilité pour les buses Pyrex

Le diffuseur à tamis fourni avec les buses permet l'homogénéité de la protection gazeuse. Le figure 11 représente la protection gazeuse .



Figure 11 : la protection gazeuse.[8]

I.4.7. Les électrodes non fusibles :

On peut considérer qu'il existe 4 types d'électrodes non fusibles (T° de fusion du tungstène $\sim 3450^{\circ}\text{C}$) qui peuvent être utilisées en soudage TIG :

- Tungstène Lanthane
- Tungstène pur (extrémité verte) utilisée pour les courants alternatifs (alliages d'aluminium)
- Tungstène avec oxyde de zirconium utilisée aussi en courant alternatifs (alliages d'aluminium)
- Tungstène thorié (couleur d'extrémité rouge) utilisée pour les aciers de construction et aciers inoxydables
- Tungstène cérié

I.4.8. Affûtage des électrodes en tungstène :

Lors de la soudure TIG, l'affûtage des électrodes est un paramètre important puisque la qualité de votre cordon dépendra en partie de cette opération. En effet, selon que vous soudez en courant continu ou en courant alternatif, la pointe de l'électrode sera affûtée de façon différente. Dans tous les cas les stries dues au meulage doivent être dans le sens de l'électrode et devront respecter un angle de 30° à 60° avec un méplat pour éviter les inclusions de tungstène dans le cordon de soudure, si vous soudez des aciers. Un affûtage à 90° sera réalisé pour souder des

alliages légers tels que l'aluminium. Dans les deux figures (12.a et 12.b) on remarque que les deux types des affutages :

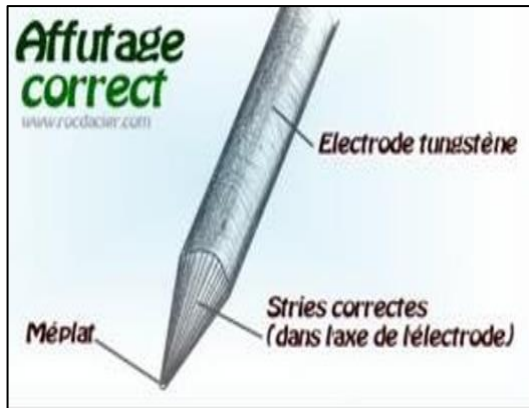


Figure 12.a : affutage correct[8]

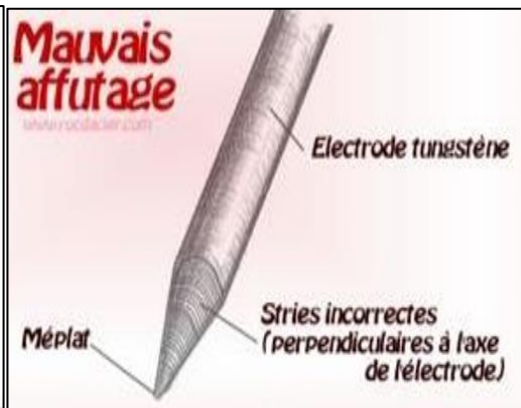


Figure 12.b: mauvais affutage [8]

I.4.9. Type de courant en soudage TIG [8]:

On utilise le courant continu (DC) en polarité directe (- à l'électrode tungstène et + à la masse) pour souder l'acier, l'inox, le titane, les inconel, les duplex,). On utilise le courant alternatif (AC) en polarité directe surtout pour détruire la couche d'alumine lors du soudage de l'aluminium. Pour les autres cas, la pénétration est favorisée

I.4.10. Réglage de poste à souder TIG :

Cette procédé à la particularité de pouvoir fournir beaucoup d'options dans les réglages. Le pré-gaz qui permet de purger les tuyaux de l'air. La montée progressive (inverse de l'évanouissement de l'arc) permet d'atteindre de manière progressive l'intensité souhaitée. L'évanouissement progressif de l'arc permet de passer de la valeur du courant de soudage à 0 en un temps donné. Ce réglage est important pour limiter le risque de formation d'un cratère. Le post-gaz permet de refroidir progressivement le tungstène et aussi pour de bain de fusion en cours de solidification.

I.4.11. Le TIG en soudage pulsé :

Le soudage pulsé est un mode de soudage dont les intensités ne sont pas régulières. On aura un courant de pic et un courant de base. On peut choisir la fréquence d'alternance de ces deux cycles. Ces réglages sont précis, utiles pour les pièces fines ou très fines, ou nécessitant une limitation de l'énergie de soudage. De nombreux essais sont nécessaires pour obtenir un résultat optimal.

I.4.12. Gaz utilisés en procédé TIG :

- L'argon pur est le plus couramment utilisé en soudage TIG. (bon amorçage de l'arc)

- **L'hélium** utilisé en complément à l'argon, l'arc développe une énergie plus importante et donc des performances accrues du fait de la vitesse plus grande. Le coût du soudage est plus important cependant. (Alliages légers, cuivre...)
- **L'hydrogène** utilisé en addition avec l'argon permet lui aussi d'obtenir un arc plus énergétique, donc une vitesse de soudage améliorée. En outre, une pénétration plus importante est constatée ainsi qu'un aspect plus esthétique du cordon de soudure.
- **L'azote** peut aussi être utilisé en complément à l'argon et en très petite quantité pour souder des aciers duplex. Utilisé aussi en protection envers.
- **I.5. Soudage par points [9]:**

I.5.1. Principe :

La figure 13 représente schématiquement le principe du soudage par points : les deux tôles sont prises en étau entre deux électrodes afin de maintenir l'ensemble en contact. Cet assemblage est ensuite traversé par un courant de forte intensité qui crée un noyau fondu au niveau de l'interface tôle-tôle. En refroidissant, ce noyau fondu fixe localement les deux tôles entre elles.

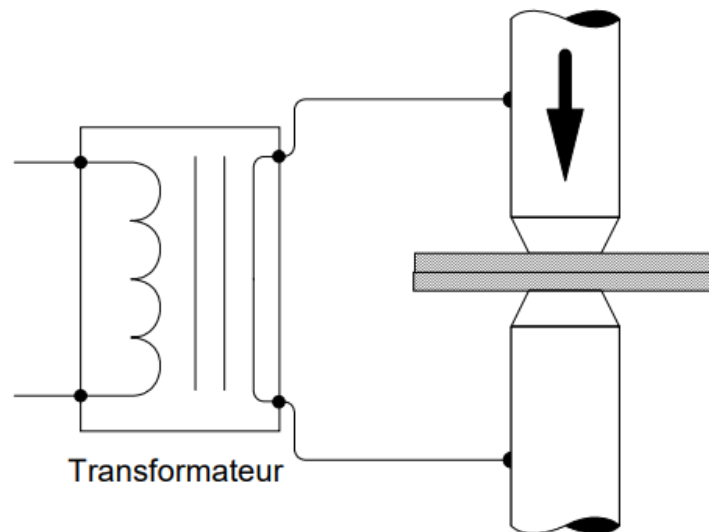


Figure 13 : Principe du soudage par points [9]

I.5.2. Déroulement du cycle de soudage :

Un cycle de soudage se décompose en quatre phases :

- l'accostage : les électrodes se rapprochent et viennent comprimer les pièces à souder, à l'endroit prévu et sous un effort donné. Dans le cas des machines du CRDM, seule l'électrode supérieure se rapproche, l'autre étant fixe. Cette phase se termine quand la valeur d'effort nominale est atteinte,

- le soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur du circuit de puissance, et doit, par effet Joule, produire assez de chaleur à l'interface tôle-tôle pour qu'une zone fondue apparaisse,
- le forgeage : effectué avec maintien de l'effort mais sans passage de courant, il permet au noyau fondu de se refroidir et de se solidifier en restant confiné,
- la remontée de l'électrode : l'ensemble des deux tôles peut alors être translaté afin de procéder à la soudure d'un nouveau point.

Ces quatre phases, ainsi que les évolutions de l'effort mécanique et du courant de soudage tout au long d'un cycle, sont représentées sur la figure 14.

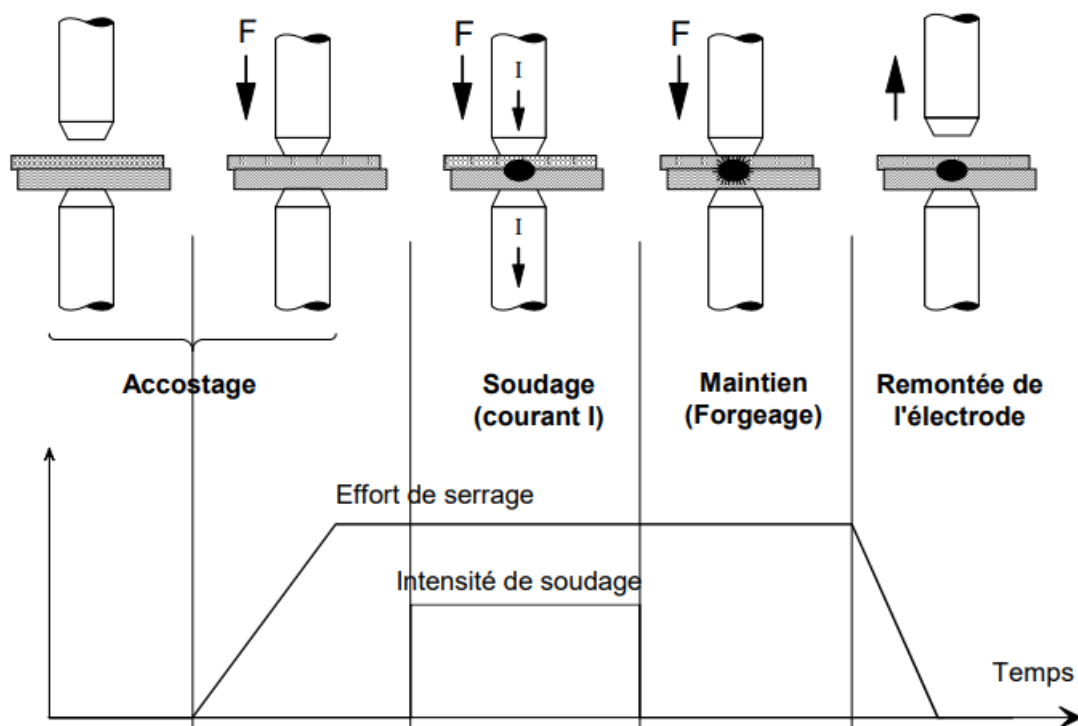


Figure 14 : Les différentes phases d'un cycle de soudage [9]

L'allure des courbes d'effort et d'intensité représentées ici est purement qualitative. Dans la pratique, leurs évolutions ne sont jamais linéaires car les valeurs sont fortement perturbées par les évolutions des résistances mécaniques et électriques rencontrées.

I.6. Soudage à la molette [9]:

I.6.1. Le Principe :

La figure 15 représente schématiquement le principe du soudage à la molette diffère du soudage par points en ce que les électrodes classiques sont ici remplacées par des disques en cuivre, ou molettes, qui par rotation permettent de faire des soudures par recouvrement, continues et

étanches. La soudure se réalise de façon progressive et continue, associant serrage des tôles et passage du courant, sur toute la longueur du cordon à réaliser.

Un cycle de soudage comporte donc les phases suivantes, similaires à celles du soudage par points :

- **l'accostage** : les deux molettes viennent serrer, pour les accoster et localiser le courant, les deux pièces à souder au point de départ ;
- **le soudage** : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire, et la rotation des molettes est engagée, créant une liaison continue ;
- **l'arrêt** qui commande l'écartement des molettes en fin de cordon.

C'est un procédé offrant des vitesses de soudage élevées très intéressant pour l'assemblage de tôles profilées. Des vitesses de soudage de ϵ à 4 m/min sont atteintes, mais il est possible d'obtenir des vitesses de l'ordre de 15 m/min (sous haute fréquence). On peut même atteindre 50 m/min pour le soudage des boîtes de conserve par exemple.

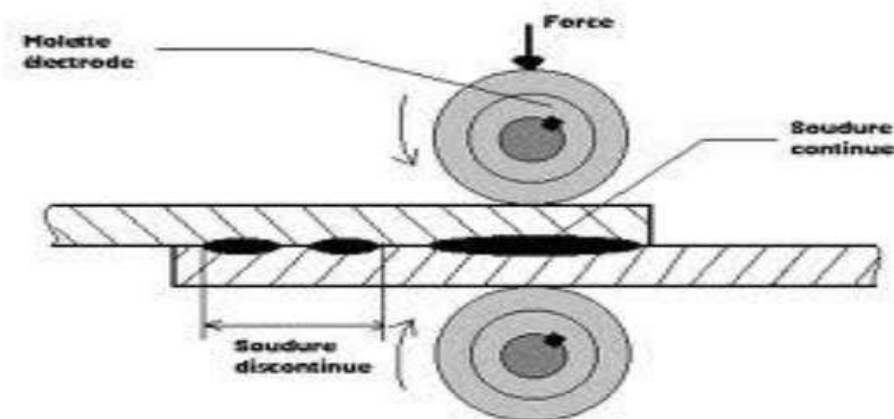


Figure 15 : schéma de soudage à la molette . [9]

I.7.Soudage plasma [10]:

Le soudage plasma est un procédé de soudage à l'arc. La source de chaleur nécessaire à la fusion est générée par l'arc plasma.

Le jet de plasma est obtenu par l'étranglement d'un arc électrique dans une tuyère de faible diamètre dans laquelle s'écoule un gaz plasmagène (généralement de l'argon ou un mélange

d'argon/hydrogène). Le jet de plasma s'établit à l'amorçage sous haute tension à haute fréquence puis est transféré de l'électrode en tungstène vers la pièce, à une plus faible tension. Dans le cadre du soudage plasma, un second gaz de protection inerte dit gaz annulaire est nécessaire. Il peut être un mélange de gaz (argon/hydrogène ou argon/hélium) ou argon pur, et protège ainsi le bain de fusion. Il a des effets sur certains critères : le mouillage, l'aspect du cordon, et la vitesse du travail de soudage.

La figure 16 représentée le soudage plasma :



Figure 16 : soudage plasma [10]

I.8. Les différents types d'assemblages soudés :

L'assemblage soudé sert à transmettre des efforts entre les pièces jointes par soudage. Les forces et les tensions introduites en différents points d'une structure sont transmises aux surfaces, et aux membrures à travers la soudure. Le type de sollicitation en service a une influence sur la conception du joint soudé.

. La soudure se fait par fusion des bords, sans ou avec peu de métal d'apport. La méthode de soudage choisie peut nécessiter la préparation d'un chanfrein. Du point de vue construction on trouve une grande variété de joints soudés : ils issues de quatre configurations de base que l'on peut classer comme suit :

- Assemblage bout à bout.
- Assemblage en T.
- Assemblages à recouvrement.
- Assemblage en angle.

I.8.1 Assemblage bout à bout :

Un assemblage bout à bout correctement exécuté assure une parfaite continuité Géométrique de la matière. Son comportement aux sollicitations de tous types est Bon. La présentation des bords à assembler nécessite des soins particuliers pour assurer l'alignement et l'écartement des éléments lors de la préparation des joints à souder, afin de permettre la bonne exécution de la soudure. Généralement, pour les épaisseurs à 4 ou 5 mm la préparation des bords est chanfreinée.

I.8.2 Assemblage en coin (angle intérieur et angle extérieur) :

On rencontre cet assemblage dans la reconstitution de caisson. L'assemblage de ce type est particulièrement difficile à réaliser. La tolérance sur le jeu entre les deux pièces doit être sévère. Lorsque le jeu est trop important, il y a effondrement du bain de fusion.

I.8.3 Assemblage à bords relevés :

Cette préparation convient pour l'assemblage de tôles de faible épaisseur sans métal d'apport.

I.8.4 Assemblage en T :

Cet assemblage est surtout utilisé pour la fixation des raidisseurs sur les panneaux, sur la préfabrication des profilés reconstitués et dans les pièces mécano soudées.

I.8.5 Assemblage à clin ou à recouvrement :

Les tôles à assembler sont facilement accostées l'une sur l'autre.

I.8.6 Assemblage avec couvre-joints :

Cette préparation convient pour l'assemblage des pièces peu sollicitées.

L'accostage est facilité dans le cas des joints de chantier.

I.9. Les défauts des soudages :

I.9.1. Introduction :

Il existe plusieurs types de défauts de soudure ainsi que différentes méthodes pour les prévenir et les corriger. Ce chapitre vise à identifier et à décrire les défauts les plus courants en fonction du métal travaillé ou du procédé de soudage utilisé. Commençons d'abord par les fissurations.

I.9.2. Les fissures [11]:

I.9.2.1. Généralités :

Les fissures sont définies comme des discontinuités de type fracture caractérisées par une extrémité en pointe et à haut rapport de longueur /largeur. Elles peuvent se produire dans le métal fondu, la zone affectée thermiquement, et le métal de base lorsque des contraintes localisées dépassent la résistance maximum du matériau. la fissuration est souvent initiée par de

concentrations de contraintes causées par d'autres discontinuités mécaniques ou à proximité d'entailles associées à la configuration du joint. Les contraintes qui provoquent la fissuration peuvent être soit résiduelles ou appliquées. Les contraintes résiduelles se développent en raison de restrictions issues de l'opération de soudage et de la contraction thermique qui suit la solidification de la soudure. Les fissures liées au soudage présentent peu de déformation plastique... Si une fissure est décelée durant le soudage, celle-ci doit être complètement éliminée avant de poursuivre le soudage. Le soudage sur une fissure supprime rarement la fissure.

I.9.2.2. Orientation des fissures :

Les fissures peuvent être décrites comme étant longitudinales ou transversales, en fonction de leur orientation. Quand une fissure est parallèle à l'axe de la soudure, elle est appelée fissure longitudinale, peu importe qu'il s'agisse d'une fissure centrale dans le métal fondu ou une fissure dans la zone de jonction du métal de base affectée par la chaleur .

I.9.2.2.1. Les fissures longitudinales : dans les petites soudures entre fortes sections sont souvent le résultat des taux de refroidissement et de contraintes résiduelles élevées. En soudage à l'arc submergé, elles sont généralement associées à des vitesses de soudage élevées ou peuvent être liées à des problèmes de porosités non apparentes à la surface de la soudure [11]. Les fissures longitudinales de la zone affectée thermiquement sont généralement causées par de l'hydrogène dissous (Figure .17).

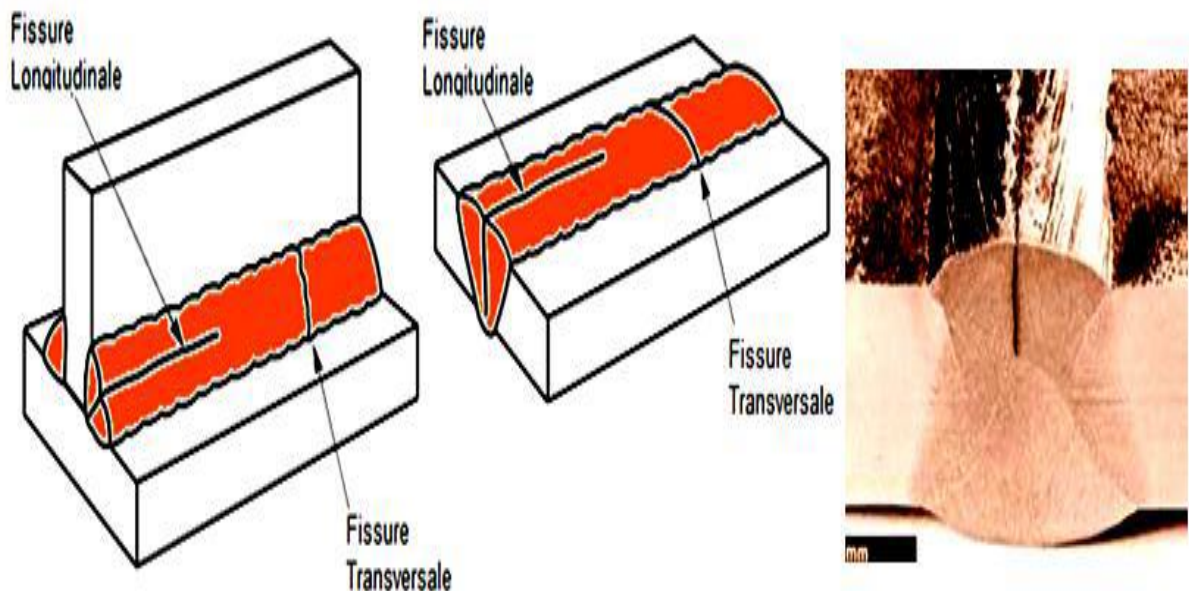


Figure 17 : La fissure longitudinale [11]

I.9.2.2.2. Les fissures transversales : sont perpendiculaires à l'axe de la soudure. Celles-ci peuvent être limitées en taille et contenues entièrement dans le métal de soudure ou bien se propager dans la zone adjacente affectée par la chaleur puis dans le métal de base à partir du métal de soudure.

Dans certains assemblages soudés, les fissures transversales se forment dans la zone affectée par la chaleur et non pas dans la soudure. Les fissures transversales sont généralement le résultat de contraintes de retrait longitudinal agissant sur le métal fondu de faible ductilité. La fissuration par hydrogène du métal fondu peut être orientée dans le sens transversal (Figure.18).



Figure 18 : La fissure transversale. [11]

I.9.3 Manque de fusion :

I.9.3.1. Localisations possibles des manques de fusion :

Des manques de fusion peuvent apparaître (Figure 19) :

- Soit dans le flanc de la soudure entre métal de base et métal déposé.
- Soit entre passes de soudage.
- Soit à la racine de la soudure entre métal de base et métal déposé.

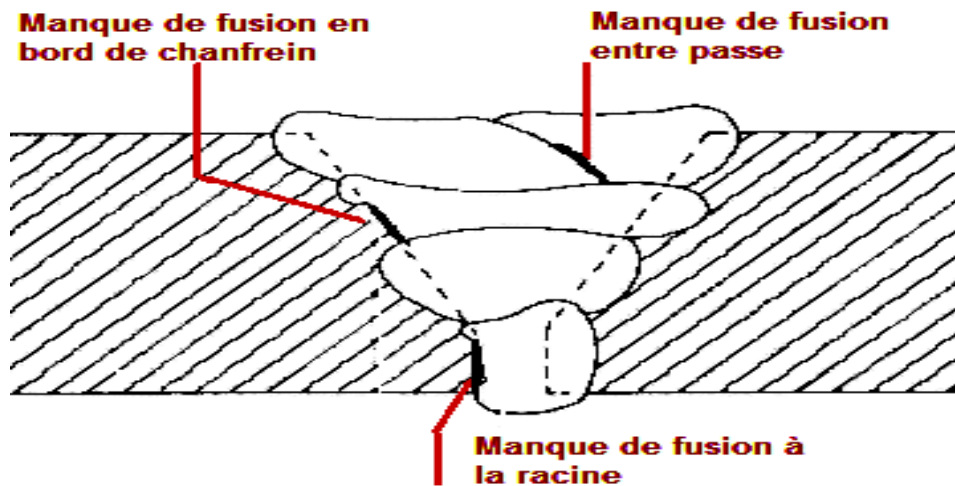


Figure 19 : Localisations possibles des manques de fusion [11]

I.9.3.2. Manque de fusion dans le flanc de la soudure :

I.9.3.2.1. Définition :

Manque de cohésion moléculaire entre métal d'apport et métal de base au flanc de la soudure (Figure .20.).

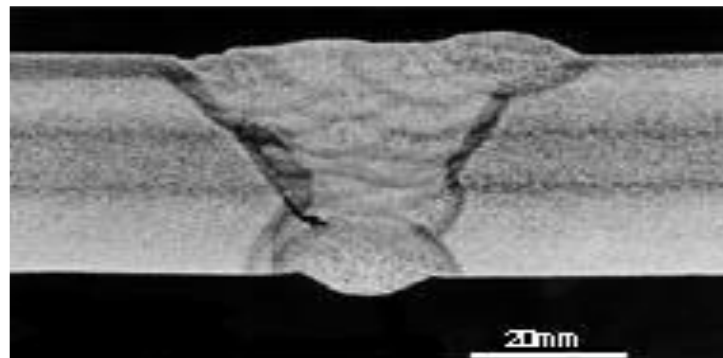


Figure20 : Manque de fusion dans le flanc de la soudure. [11]

I.9.3.2.2. Causes possibles :

- Energie de l'arc trop faible.
- Vitesse de soudage trop élevée.
- Mauvais angle de l'électrode.
- Métal d'apport qui coule devant l'arc à la suite de la position de soudage.
- Inductance trop importante en soudage MAG.
- Bords à souder mal nettoyés.

I.9.3.2.3. Méthodes de détection :

- Surtout examen par « Ultrasons » (difficilement détectable par radiographie).

I.9.3.2.4. Méthodes de réparation :

- Eliminer la partie défectueuse et ressouder.

I.9.3.2.5. Mesures préventives :

- Qualification de la procédure pour vérifier la fusion
- Eventuellement modifier l'angle d'inclinaison de l'électrode ou la position de soudage
- Nettoyer suffisamment les bords à souder
- Diminuer une inductance trop élevée dans le soudage MAG, même si les projections sur le métal de base deviennent plus nombreuses.

I.9.4. Manque de fusion entre passes :

I.9.4.1. Définition :

Manque de cohésion moléculaire entre les passes d'une soudure multi-passes (Figure .21).

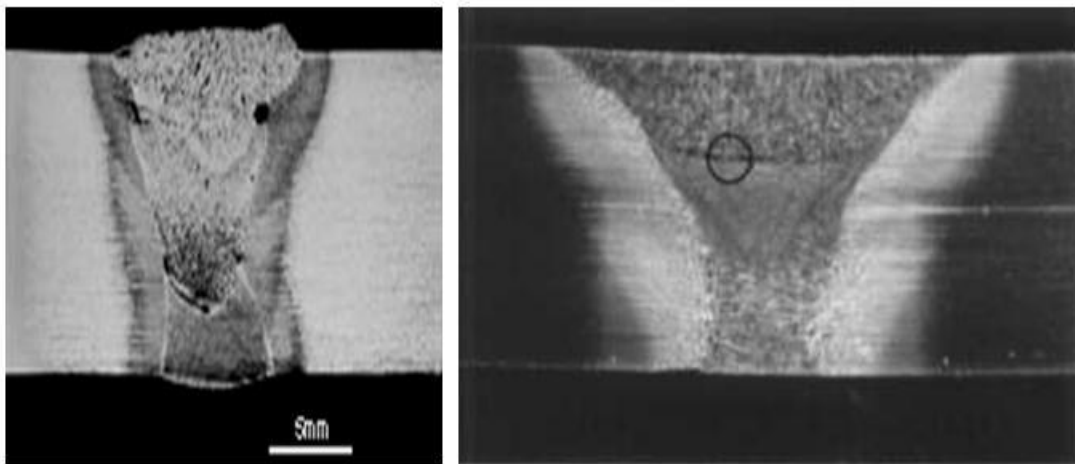


Figure 21 : Manque de fusion entre passes. [11]

I.9.4.2. Causes possibles :

- Manque de fusion dans le flanc de la soudure.
- Méthodes de détection
- Méthodes de réparation
- Mesures préventives

I.9.6. Manque de fusion à la racine de la soudure :

I.9.6.1. Définition :

Manque de fusion moléculaire entre métal d'apport et métal de base à la racine de la soudure. Cette faute est souvent accompagnée d'un manque de pénétration (Figure 22).

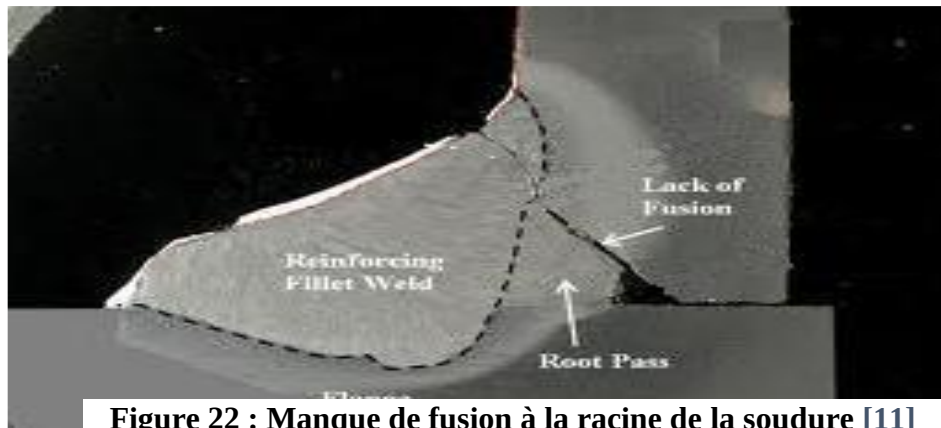


Figure 22 : Manque de fusion à la racine de la soudure [11]

I.9.6.2. Causes possibles :

- Manque de fusion dans le flanc de la soudure Autres causes spécifiques,
- Ecartement trop faible,
- Méplat trop important lors de la préparation,
- Diamètre de l'électrode trop important dans le soudage à l'arc électrique.

I.9.6.3. Méthodes de détection :

- Manque de fusion dans le flanc de la soudure Si la soudure peut être contrôlée à l'envers, examen visuel, magnétique ou par ressuage.

I.9.6.4. Méthodes de réparation :

- Si la reprise à revers est possible : éliminer le défaut par meulage et reprendre à revers
- Si la reprise à revers est impossible : éliminer toute la soudure et ressouder.

I.9.6.5. Mesures préventives :

- Manque de fusion dans le flanc de la soudure et surtout spécialement soigner préparation (écartement, méplat).

I.10. Les déformations de soudage [12]:

Les déformations liées au procédé de soudage sont fonction de type de soudure. Figure 23 se trouvent les déformations lors du soudage d'un joint en V ; les déformations durant un assemblage en T sont figure 24.

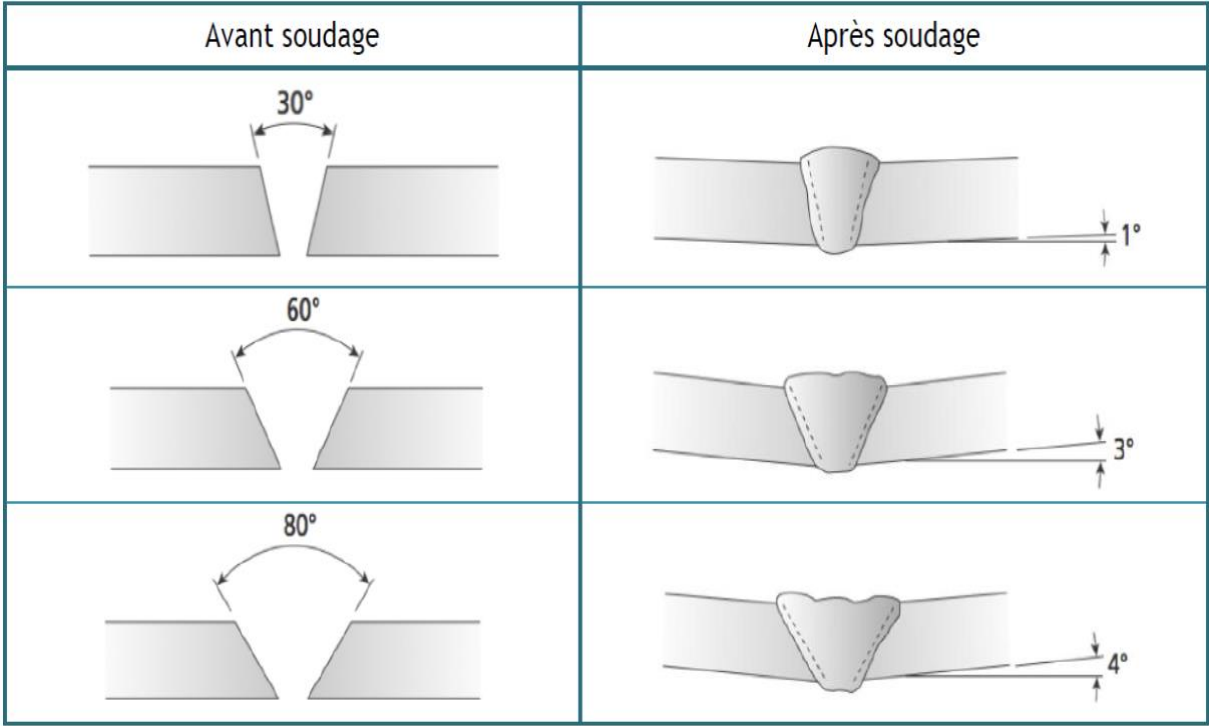


Figure 23 : Déformations de soudage de joint V [12]

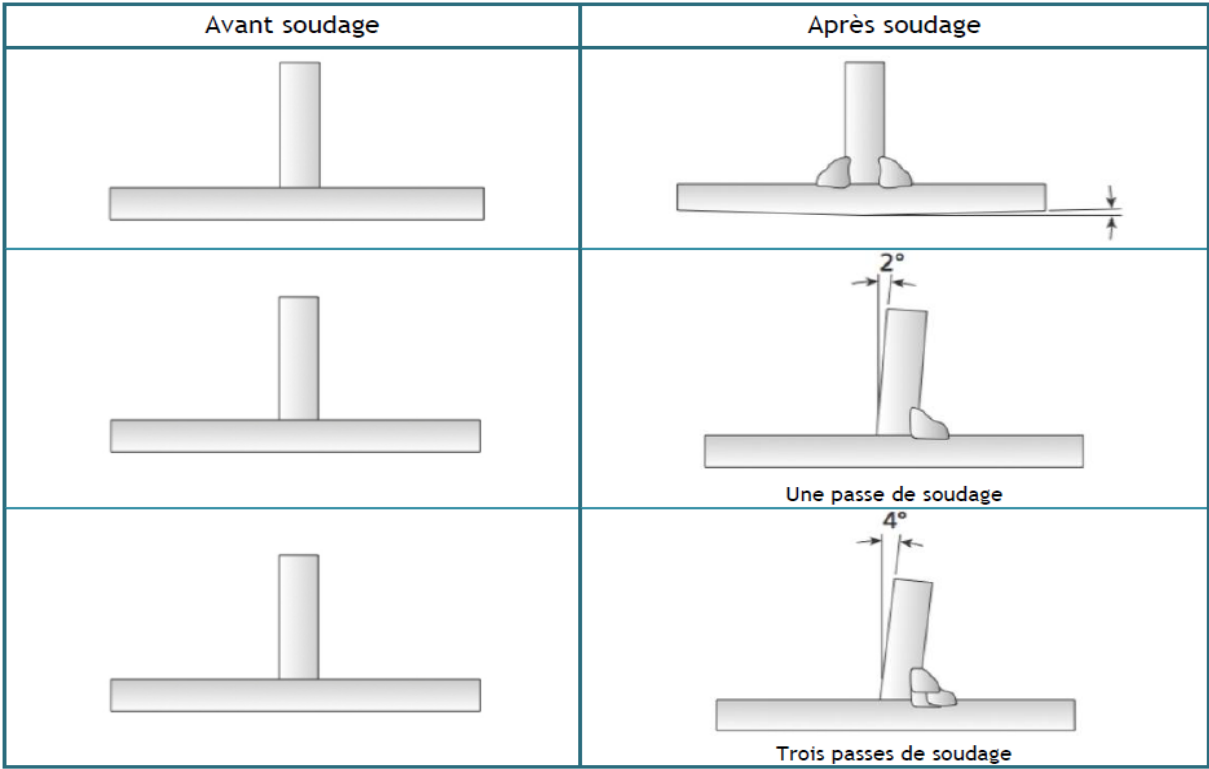


Figure 24 : Déformations de soudage d'assemblages en T [12]

Le retrait angulaire se contrôle par l'application de déformations préalables ou par une séquence de soudage appropriée.

Le tableaux 1 explique les Paramètres et les Effets sur la présence de déformations

Tableau 1 : Effets sur la présence de déformations

Paramètres	Effets sur la présence de déformations
Bonne préparation des joints	
Nombre de passes 	
Vitesse de soudage 	

* Augmente les risques de déformations angulaires mais diminue les risques de déformations longitudinales plusieurs méthodes existent pour éviter les déformations de soudage comme de prévoir une préparation adéquate des joints, une vitesse de soudage la plus rapide possible et une réduction du nombre de passes de soudage au minimum.

D'autres méthodes incluent le préchauffage, le chauffage, le bridage et le pointage.

I.11. Les principaux risques liés au soudage [13]:

L'opération de soudage comporte de nombreux risques, qui dépendent de la technique utilisée :

- Risques liés aux fumées et aux gaz : la fusion des métaux donne naissance à des fumées et gaz toxiques,
- Risques d'incendie et d'explosion,
- Risques d'électrisation : danger présent lors de la création d'arc électrique,
- Risques pour la peau et les yeux : production d'UV nocifs

I.12. Règles de sécurité et principales normes :

Vu les risques possibles, la sécurité est un élément primordial. Voici quelques règles élémentaires et les principales normes de sécurité :

1. Porter des gants isolants et des vêtements de protection secs et sans trous.
2. Couper l'alimentation d'entrée avant d'installer l'appareil.
3. Installer le poste correctement et le mettre à la terre conformément aux normes.
4. L'équipement doit être hors tension lorsqu'il n'est pas utilisé.
5. Porter une visière ou des lunettes de sécurité avec des écrans latéraux.
6. Ne pas placer l'appareil sur, au-dessus ou à proximité de surfaces inflammables.

CHAPITRE I Généralités sur le soudage

7. Ne pas souder des métaux munis d'un revêtement, tels que l'acier galvanisé, plaqué en plomb ou au cadmium à moins que le revêtement n'ait été enlevé dans la zone de soudure, que l'endroit soit bien ventilé, et si nécessaire, en portant un respirateur à alimentation d'air.

8. Les porteurs d'un stimulateur cardiaque doivent d'abord consulter leur médecin avant de s'approcher des opérations de soudage.

9. Prévoir une période de refroidissement : respecter le cycle opératoire nominal.

Principales normes de sécurité :

- Safety in Welding and Cutting, Norme ANSI Z49.1
- National Electrical Code, NFPA Standard 70
- Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes, Norme CSA W117.2
- Safe Practices For Occupation And Educational Eye And Face Protection, Norme ANSI Z87.1
- Cutting and Welding Processes, Norme NFPA 51B

CHAPITRE II

Les gaz de protection

II.1. HISTIOIRE SUR LES GAZ DE PROTECTION :

Les gaz de protection sont des élément essentiel du soudage moderne. Leur utilisation remonte aux années 1920, lorsque les premiers procédés de soudage à l'arc ont été développés. À l'époque, les soudeurs ont constaté que les contaminants atmosphériques tels que l'oxygène, l'azote et l'humidité pouvaient causer des défauts dans le soudage. Pour résoudre ce problème, les soudeurs ont commencé à utiliser des gaz inertes tels que l'argon pour créer une atmosphère inerte autour de l'arc électrique et du bain de fusion, empêchant les contaminants de réagir avec le métal fondu. Cette méthode est connue sous le nom de soudage TIG (Tungsten Inert Gas) et est toujours utilisée aujourd'hui dans de nombreuses applications de soudage.

Dans les années 1940, un nouveau procédé de soudage à l'arc, appelé MIG (Metal Inert Gas), a été développé. Le MIG utilise un gaz de protection inerte pour protéger le bain de fusion et l'arc électrique, mais utilise également un fil d'apport continu pour ajouter du métal fondu au joint de soudure. Cette méthode de soudage est très efficace pour les matériaux fins et les applications de production de masse. Plus tard, dans les années 1950, un autre procédé de soudage à l'arc, appelé MAG (Metal Active Gas), a été développé. Le MAG utilise un gaz de protection actif, comme le dioxyde de carbone, en plus d'un fil d'apport continu. Ce gaz actif réagit chimiquement avec les contaminants atmosphériques, empêchant leur interaction avec le métal fondu. Cette méthode de soudage est très efficace pour les matériaux épais et les applications de soudage en extérieur.

Au fil des années, les gaz de protection ont évolué pour répondre aux besoins spécifiques des soudeurs et des applications de soudage. Aujourd'hui, il existe une large gamme de gaz de protection disponibles, chacun ayant des propriétés spécifiques en fonction du matériau à souder et des conditions de soudage. Les gaz de protection sont souvent mélangés pour améliorer leurs propriétés et fournir une protection optimale lors du soudage.

II.2. Introduction :

Dans la fabrication métallique de construction soudée, les procédés de soudage à l'arc électrique sous protection gazeuse sont très utilisés.

- TIG pour tous matériaux
- MIG pour aluminium
- MAG pour les aciers alliés et non alliés
- Plasma pour tous matériaux

Pour chacune de ces applications, il existe une palette de gaz et mélanges gazeux, aussi il devient difficile de définir quelle protection gazeuse est la plus adaptée.

Au cours de ces dernières années, Air Liquide a développé dans son Centre, une gamme de gaz et mélanges gazeux en fonction de leurs aptitudes à assurer :

- La stabilité de l'arc
- Les performances du mode opératoire
- La qualité des cordons de soudure obtenue tant par ses caractéristiques mécaniques et métallurgiques que par l'esthétique du joint soudé.

La norme européenne EN ISO 14175 a pour objet de classer les gaz de protection en fonction de leurs caractéristiques chimiques et de leur composition. Cette référence normative est utilisée pour les agréments couple fil/gaz ainsi que pour les qualifications de mode opératoire.

On va expliquer l'importance du rôle du gaz de protection, les différents types de protection gazeuse et de leurs applications en fonction des matériaux à assembler. Il décrit le comportement des différents gaz ou mélanges gazeux (avantages et inconvénients).

Il permet de définir le type de gaz le plus adapté en fonction du résultat souhaité et selon les procédés de soudage utilisés. [14.15.16.17.]

II.3. Généralités physiques :

Dans un milieu gazeux, entre deux électrodes portées à un potentiel convenable, un arc électrique peut être amorcé et maintenu. Une des deux électrodes, l'anode, est reliée au pôle positif d'une source de courant ; l'autre, la cathode, est connectée au pôle négatif.

Sous l'effet de la différence de potentiel existant entre les deux électrodes, très proches l'une de l'autre, des électrons jaillissent de la cathode et sont attirés vers l'anode. Pendant le trajet dans le milieu gazeux, le choc des électrons sur les atomes de gaz libère d'autres électrons.

Cette réaction en chaîne permet d'établir l'arc.

En soudage à l'arc sous atmosphère protectrice, on distingue 2 types d'arc :

II.3.1 Soudage TIG ou Plasma :

C'est un arc simple établi dans une atmosphère de gaz.

Il n'y a pas de vapeurs métalliques et toutes les particules porteuses de courant proviennent de l'ionisation du gaz.

II.3.2 Soudage MIG MAG :

L'arc se fait avec transfert de métal.

À l'inverse du soudage TIG, il y a une grande concentration de vapeurs métalliques qui fournissent la majeure partie des particules porteuses de courant.

II.4. Rôle du gaz de protection : Il protège le bain de fusion contre l'action néfaste de l'air ambiant composé d'oxygène, d'azote et d'humidité. Cela peut paraître paradoxal car

l'oxygène, l'hydrogène ou l'azote sont dans certains cas, ajoutés volontairement au gaz protecteur. Ceci pour améliorer la maniabilité opératoire, l'aspect de la soudure ou la recherche de caractéristiques métallurgiques.

Ces mélanges gazeux ne sont utilisés que si le gaz d'addition n'engendre pas d'effets métallurgiques négatifs dans le matériau. En soudage à l'arc électrique sous atmosphère protectrice, la protection gazeuse peut être subdivisée en 4 parties :

II.4.1 Protection endroit :

Parfois appelée protection primaire, cette fonction assurée par le biais de la torche de soudage, consiste à protéger le bain de fusion de l'air ambiant pour éviter les défauts de soudage et de métallurgie.

II.4.2 Protection dite secondaire :

Elle consiste à protéger la soudure terminée jusqu'au refroidissement. Le matériau est ainsi à l'abri de toute réaction avec l'oxygène et l'azote. Cette fonction se fait par l'utilisation d'un traînard.

II.4.3 Protection envers :

Elle évite l'oxydation et réduit le risque de défaut à la racine. Cette fonction est assurée par un dispositif (ou gaine) sur l'envers du joint et dans lequel on laisse écouler un gaz.

II.4.4 Soudage en boîte à gants :

Concerne des applications spécifiques sur des matériaux très sensibles à l'oxydation. Il s'agit d'une enceinte fermée étanche et entièrement remplie de gaz. Le soudeur opère de l'extérieur du caisson à l'aide de longs gants souples. Outre son rôle métallurgique, le gaz doit avoir les propriétés nécessaires pour créer des conditions optimales pour l'arc électrique :

- Favoriser un amorçage facile
- Être facilement ionisé pour obtenir un arc à basse tension
- Obtenir une stabilité en racine d'arc
- Influencer le comportement du bain de fusion (mouillabilité, fluidité)
- Contribuer au transfert thermique
- Garantir un profil de cordon de soudure

Il est important de noter que le gaz de protection utilisé a une influence directe sur un ou plusieurs éléments suivants :

- Stabilité de l'arc
- Caractéristiques mécaniques
- Géométrie de la soudure
- Aspect du cordon

- Vitesse de soudage
- Environnement du poste de travail
- Maniabilité du mode opératoire

Le choix du gaz ou mélange gazeux devient un paramètre important car son action influence les performances obtenues en fonction du procédé mis en œuvre. Il convient donc de prendre en compte la compatibilité métallurgique d'un type de gaz en fonction des matériaux à assembler, l'action d'un composant sur le comportement de l'arc, l'incidence environnementale du soudeur sans négliger le coût du produit fini.

La particularité du soudage MIG-MAG est que le gaz influe sur les conditions favorables pour l'obtention d'un régime de transfert du métal dans l'arc, ainsi que sur la valeur de la plage de travail. Dans le cas du soudage TIG ou Plasma, le gaz doit être parfaitement Inerte ou réducteur pour protéger l'électrode de tungstène d'une oxydation.

La figure 25 de montre la faible part des produits de soudage dans les coûts de fabrication :

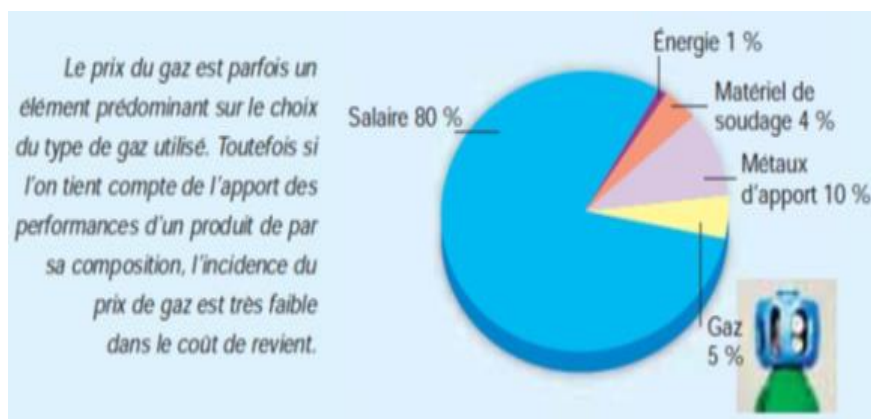


Figure 25 : La faible part des produits de soudage dans les coûts de fabrication [14]

II.5. Famille des gaz de soudage :

Les types de produits utilisés sont classifiés en fonction du caractère chimique de l'atmosphère contrôlée.

II.5.1 Gaz inerte :

Ce sont des gaz mono-atomiques argon, hélium et mélanges, quelle que soit la teneur.

Il n'y a pas de réaction avec le métal fondu. Ces gaz sont utilisés en soudage TIG, MIG aluminium et alliages, soudage Plasma.

II.5.2 Gaz oxydant :

Ces gaz provoquent toutefois une oxydation plus importante en surface des cordons en raison d'un indice d'oxydation supérieur.

CHAPITRE II Les gaz de protection

Les gaz concernés sont l'oxygène (uniquement en mélange < 6%) le dioxyde de carbone et par définition les mélanges dioxyde de carbone/oxygène ; argon/dioxyde de carbone ; argon/dioxyde de carbone/oxygène ; argon/oxygène.

Le dioxyde de carbone, gaz inerte à température ambiante est actif à température de soudage. Sous l'effet de la chaleur de l'arc électrique, le dioxyde de carbone se dissocie selon la formule : dioxyde de carbone / oxygène ; argon / oxygène ; argon / dioxyde de carbone ($2 \text{ CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$). C'est l'oxygène qui naît de cette dissociation qui rend le bain actif et permet une stabilisation de la racine de l'arc et favorise l'effet de mouillage. Ces gaz sont utilisés en soudage MAG manuel, automatique et robotique.

II.5.3 Gaz réducteur [14]:

Il s'agit de l'hydrogène (H_2) et par définition tous les mélanges argon/hydrogène.

L'hydrogène a une grande avidité pour l'oxygène et tous les gaz oxydants, c'est pour cette raison qu'il est dit réducteur.

Son utilisation améliore l'aspect du cordon (en raison de son effet de réduction des oxydes) et influe sur les profils de pénétration et vitesse de soudage en raison de sa conductibilité thermique. L'emploi d'un apport d'hydrogène n'est pas recommandé avec des aciers ferritiques

II.6. Physique des gaz de soudage :

Dans la gamme des gaz et mélanges gazeux, il faut prendre en compte les propriétés physiques des gaz comme indiquer dans le tableau 2 :

Tableau 2 : les propriétés physiques des gaz de protection

GAZ	Symb Chim.	Origines	Point ébullit ⁰	Masse vol 15°C atm	Densité	Vm ^{3*}	Caractère chimique atmosphère contrôlée	Caractéristique
Argon	Ar	Extrait de l'air par liquéfaction	-185°C	1.69 Kg/m ³	1.38	0.83	Inerte	Faible potentiel ionisation
Hélium	He	Source naturelle du gaz naturel	-269°C	0.169 Kg/m ³	0.14	0.74	Inerte	Fort potentiel ionisation
Azote	N ₂	Extrait de l'air par léquéfaction	-196°C	1.17 Kg/m ³	0.96	0.69	Inerte T ⁰ ambiante actif soudage	Utilisation très limitée en soudage
Dioxyde de carbone	CO ₂	Synthèse chimique	-78°C	1.87 Kg/m ³	1.53	1.59	Inerte T ⁰ ambiante actif soudage	Très utilisée en gaz d'addition
Oxygène	O ₂	Extrait de l'air par léquéfaction	-183°C	1.35 Kg/m ³	1.11	0.85	Oxydant	Utilisé en mélanges < 6%
Hydrogène	H ₂	Pétrochimie Electrolyse	-253°C	0.085 Kg/m ³	0.07	0.84	Réducteur	Très utilisé en gaz d'addition

Parmi les gaz utilisés, les gaz lourds tels que l'argon et le dioxyde de carbone forment une nappe couvrante au-dessus du bain de fusion.

Par contre, l'hélium, l'argon et l'hydrogène tendent à s'élever en tourbillons autour de la buse. C'est pour cette raison que le débit de l'hélium doit être plus élevé que celui de l'argon.

La conductibilité thermique traduit le transfert de chaleur qui se produit du centre vers l'extérieur de la colonne d'arc, et par conséquent l'axe central de l'arc, la partie la plus chaude. L'argon possède une faible conductibilité thermique et donne une densité d'énergie dans la zone interne de l'arc. L'hélium donne un plasma d'arc plus conducteur et engendre une répartition de chaleur plus uniforme.

Comme le montre le schéma ci-dessous, un arc électrique est constitué de deux éléments :

- L'axe central qui constitue la partie la plus chaude et qui détermine la forme de pénétration.
- L'enveloppe extérieure où la température est moins élevée.

Dans les deux figures (26a et 26b) on remarque que les deux types d'arc donnent un profil de cordon différent.

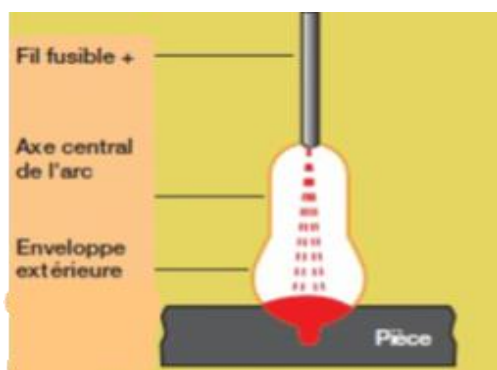


Figure 26.a: Arc dans atmosphère d'argon [14]



Figure 26.b : arc dans une atmosphère d'hélium ou d'oxyde de carbone [14]

C'est pourquoi, il faut tenir compte de la composition du gaz qui donne une forme de pénétration différente. Cette donnée est d'autant plus importante lors du soudage avec passe interpénétration. En contrepartie, un fort potentiel d'ionisation entraîne un amorçage difficile et crée une instabilité de l'arc. Un autre facteur physique à prendre en compte est le potentiel d'ionisation. Celui de l'hélium (24,3eV) est plus élevé que celui de l'argon (15,7eV) et produit une tension d'arc plus élevée. Une tension d'arc plus importante permet d'accroître les vitesses de soudage et la forme de pénétration.[14] La figure 27 montre la pénétration en fonction de la tension d'arc :

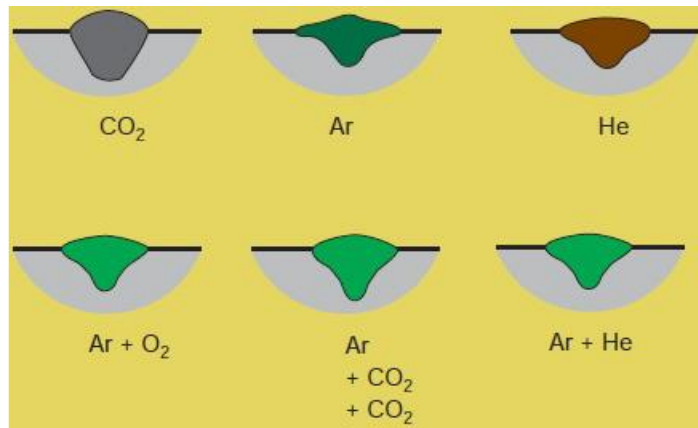


Figure 27 : pénétration en fonction de la tension d'arc [14]

II.7. Le Gaz de protection en soudage :

II.7.1. Le CO² (Gaz pur) :

II.7.1.1. Avantages et inconvénients :

- Bon marché.
- Faible sensibilité à l'oxydation, sauf en surface
- Bonne soudabilité sur les tôles oxydées
- Peu de projections en régime court-circuit.
- Pénétration importante.
- Aspect de cordon médiocre.
- Réglages plus délicats qu'avec d'autres gaz

II.7.2 L'Argon + CO² (Mélange binaire) :

II.7.2.1 Avantages et inconvénients :

- Réglages assez simples.
- Bon mouillage du cordon.
- Bain plus chaud.
- Mélange couramment employé.
- Prix de revient plus élevé que d'autres gaz.
- Sensibilité à l'humidité et à l'oxydation

II.7.3 L'Argon + O² Mélange binaire) :

II.7.3.1 Avantages et inconvénients :

- Amélioration du mouillage (O²)
- Peu de projections.
- Soudage en gouttière et à plat uniquement.

II.7.4 Argon + CO²+O² (Mélange ternaire) :

II.7.4.1 Avantages et inconvénients :

- Gaz polyvalent.
- Prix de revient plus élevé.

II.8. Choix du gaz et influence du gaz sur le cordon :

Le choix du gaz de soudage se fera en fonction du régime de soudage choisi. Par exemple : pour un régime en court-circuit, on choisira de préférence une protection gazeuse de CO² ou Argon + CO², mais on évitera l'Argon pur pour un régime par transfert globulaire, qui est un régime intermédiaire on pourra utiliser les 3 gaz pour un régime à pulvérisation axiale, on évitera le CO², en préférant l'Argon pur et le mélange Argon + C

II.9. Gaz et mélanges de gaz pour soudage (MIG MAG et TIG) et protection de la racine [18]:

Le tableau 3 représente les mélanges de gaz et leurs désignations :

Tableau 3 : Gaz et mélanges de gaz pour soudage et protection de la racine

Procédé	Matériaux	Gaz						Norme
		Désignation	Composition en vol. %					
			Ar	CO ₂	O ₂	He	H ₂	N ₂
Soudage MAG	Tous les aciers non alliés et faiblement alliés tels que : aciers de construction, aciers fins de construction, aciers tubulaires	CO ₂		100				C 1
		ARCAL 5	82	18				M 21
		ARCAL 14	96	3	1			M 14
		ARCAL 21	92	8				M 20
		ARCAL 22	98		2			M 13
		ARCAL 23	91	5	4			M 25
		NOXALIC 213	65	8	0.5	26.5		M 24
	Aciers fortement alliés	ARCAL 12	98	2				M 12
		ARCAL 121	81	1		18		M 12
	Aciers duplex, superduplex	ARCAL 129	91.5	1.8		5	1.7	Z
	Alliages à base de nickel	NOXALIC	63	3		33	1	M 11
Soudage MIG	Aluminium, cuivre et ses alliages	ARCAL 1	100					I 1
		ARCAL 31	95			5		I 3
		ARCAL 32	80			20		I 3
		ARCAL 35	50			50		I 3
		ARCAL 37	30			70		I 3
		Hélium				100		I 2
Soudage TIG (WIG), Plasma	Tous les matériaux aptes au soudage et réagissant aux gaz	ARCAL 1	100					I 1
	Aluminium, cuivre et ses alliages	ARCAL 31	95			5		I 3
		ARCAL 32	80			20		I 3
		ARCAL 35	50			50		I 3
		ARCAL 37	30			70		I 3
		Hélium				100		I 2
	Aciers duplex, superduplex, aciers CrNi (réduction de la teneur en ferrite)	ARCAL 39	88			10	2	N2
		ARCAL 391	98				2	N2
	Aciers austénitiques fortement alliés, alliages à base de nickel	ARCAL 10	97.6				2.4	R 1
		ARCAL 110	96			3.2	0.8	R 1
		ARCAL 11	75			20	5	R 1
		ARCAL 15	95				5	R 1
Protection de la racine	En particulier des matériaux austénitiques si de l'oxydation doit être évitée du côté de la racine	ARCAL 1	100					I 1
		ARCAL F5				5	95	N 5
		Formiargas 92/8				8	92	N 5
		Formiargas 75/25				25	75	N 5

II.9.1. Les gaz en soudage MIG : [15]

Comme préciser précédemment, les gaz MIG sont des gaz inertes. Ces gaz sont utilisés pour souder certains matériaux (Aluminium par exemple) lorsqu'il existe une couche d'oxyde suffisante pour stabiliser la racine de l'arc.

Les gaz mis en œuvre sont Arcal 1 ; de l'hélium ou les mélanges types Arcal 31 ; Arcal 32 ; Arcal 37 qui permettent d'obtenir une forme de pénétration en racine plus large donc favorable pour des passes d'interpénétration. Ces mélanges facilitent une meilleure compacité des zones fondues

II.9.2. Les gaz en soudage MAG :

Pour stabiliser la racine de l'arc, le gaz de protection est composé d'éléments additionnels actifs à caractère oxydant – dioxyde de carbone et/ou oxygène. Lorsque l'application le permet, on peut également utiliser une addition en faible proportion d'hydrogène, qui est un gaz réducteur. Les mélanges gazeux sont de composition différente et permettent une vitesse de fusion du fil similaire d'où une vitesse de soudage voisine. Ces gaz influent sur les caractéristiques de l'arc, le régime de transfert et le comportement du bain de fusion. Le résultat de soudage s'en trouve différent. Aussi, il faut tenir compte des autres facteurs directement liés à la composition nominale du gaz de protection :

- Le type d'assemblage à réaliser – épaisseur, préparation des joints, position de soudage...) conditionne le choix du transfert à utiliser. Le court-circuit est plus précisément utilisé pour le soudage des fines épaisseurs ou le soudage en position. La pénétration est peu profonde et de forme arrondie. Ce régime d'arc est également utilisé pour le soudage des passes de fond sur des préparations chanfreins.
- La pulvérisation axiale est caractérisée par un détachement des gouttes, provoqué par un effet de pincement d'autant plus élevé que la densité de courant est grande. La forme de pénétration est profonde et pointue. Le régime d'arc pulsé est préconisé sur fines épaisseurs et pour le soudage en position. Le comportement de l'arc est similaire au régime pulvérisation axiale et présente une pénétration effilée et pointue. [14]

II.9.2.1 Les mélanges en soudage MAG :

Il existe toute une palette de mélanges gazeux, du gaz binaire au quaternaire avec des compositions différentes et des teneurs plus ou moins importantes. Il n'est pas toujours possible de préconiser un mélange précis pour une application selon un type de matériau. Il faut toutefois retenir qu'il n'existe pas de meilleurs ou de mauvais mélanges gazeux, et que l'utilisation d'un gaz de protection en soudage MAG dépend de nombreux facteurs qui permettent d'obtenir un résultat souhaité. Au cours des dernières années, les exigences qu'impose le marché ont

considérablement fait évoluer les types de mélanges gazeux appliqués au soudage MAG. Si par le passé on se contentait d'une protection gazeuse dioxyde de carbone pur, aujourd'hui les besoins s'expriment au regard de gaz plus sophistiqués dans l'objectif d'obtenir des gains de performances en termes de productivité et ou de qualité.[16]

II.9.2.1.1 Argon/Oxygène :

C'est le premier mélange gazeux appliqué au soudage des aciers au carbone. À l'origine du procédé, il contenait une teneur de 2 à 5 % d'oxygène. Ce gaz de protection ne fut pas développé en raison du coût prohibitif d'argon (gaz de base). Ce mélange permet d'obtenir un bain de fusion fluide et est favorable en soudage à plat. Les cordons de soudures sont plats, brillants et lisses. En régime d'arc par pulvérisation axiale, la colonne d'arc représente une longue veine liquide et exerce une faible pression sur le bain de fusion. Arcal 22 reste le bon compromis d'une addition d'oxygène. Une teneur plus importante en oxygène donne un comportement de bain de fusion semblable et l'inconvénient de défauts de soudage :

- Il est possible d'augmenter fortement les vitesses de soudage, toutefois il existe le risque de porosités dans le cordon dû à un mauvais dégazage.
- Aspect du cordon très oxydé provoquant également une présence de soufflures si le fil fusible ne contient pas suffisamment d'éléments désoxydants.
- L'arc relativement étroit a tendance à faciliter des défauts de caniveaux. Arcal 22 améliore l'environnement du soudeur car son utilisation limite les éléments des fumées de soudage. [17]

II.9.2.1.2 Argon/Dioxyde de carbone :

Atal fut le premier mélange de ce type développé en remplacement du dioxyde de carbone pour l'amélioration des résultats de soudage. Polyvalent, il est possible de souder en toutes positions petites et forte épaisseur. D'une composition forte en dioxyde de carbone, ce mélange n'est pas adapté pour le soudage en régime pulsé. Caractérisé par les spécificités liées à la gamme Arcal, Atal 5 A est recommandé lorsque la compacité et les caractéristiques mécaniques constituent des critères prioritaires. Arcal 12 permet le soudage en régime pulsé, principalement pour les fines épaisseurs sur les aciers inoxydables ou le soudage en position. Son faible taux de dioxyde de carbone limite les émissions de fumées. Bien adapté pour différents régimes d'arc, Arcal 21 permet d'obtenir des caractéristiques de compacité, bonne maniabilité opératoire, et réduction des travaux de finition. Arcal 21 permet d'utiliser des réglages de faible tension et forte vitesse de fil pour obtenir des vitesses de soudage élevées et des taux de dépôts importants sans avoir recours à des mélanges spécifiques.[17]

II.9.2.1.3 Argon/Dioxyde de carbone/Oxygène :

C'est le compromis lorsque l'on veut bénéficier des avantages du dioxyde de carbone et de l'oxygène. En règle générale, la teneur est faible pour chacun des constituants. Toutefois, ces mélanges bien adaptés en court-circuit présentent quelques difficultés sur de plus fortes intensités. Le taux d'oxydation doit être pris en compte (% oxygène + 0,5 % dioxyde de carbone). Arcal 14 a été conçu pour satisfaire les utilisations nécessitant un pouvoir d'oxydation faible tout en étant suffisant. Il en résulte une application dans de nombreux domaines en régime pulsé comme en courant lisse sur faibles épaisseurs. Le faible taux d'oxydation permet un excellent état de surface ainsi qu'une réduction des émissions de fumées. Très bonne compacité des cordons de soudure.

II.9.2.1.4 Argon/Dioxyde de carbone/Hydrogène

Ce mélange particulier est constitué d'une base inerte, d'un composant oxydant et d'une addition de gaz actif à caractéristique réducteur. Comme tous les gaz MAG, la teneur en dioxyde de carbone doit stabiliser les racines cathodiques de l'arc. L'addition d'hydrogène :

- réduit les oxydes pour bénéficier d'un meilleur aspect du cordon,
- augmente l'énergie de l'arc pour améliorer la vitesse de soudage et le profil du cordon. Il faut noter que l'addition d'hydrogène présente quelques inconvénients comme le risque de porosités ou fragilisation. En MAG on n'utilise pas une teneur supérieure à 2 % pour éviter ce risque de défauts. Ce type de mélange qui ne s'applique qu'aux aciers inoxydables austénitiques, n'élève pas d'une manière notable l'énergie de soudage, aussi les performances de l'arc restent sensiblement les mêmes. La présence d'hydrogène n'ayant qu'un rôle de gaz réducteur.

II.9.2.1.5 Mélanges avec addition d'hélium :

En ce qui concerne le soudage TIG, l'utilisation d'hélium comme gaz protecteur inerte peut permettre d'obtenir un arc plus chaud, ce qui élargit l'axe central de l'arc et crée un bain de fusion plus large. Cela peut être particulièrement utile dans certaines applications où l'hydrogène n'est pas nécessaire.

Arcal 112 est un mélange quaternaire spécialement conçu pour le soudage MAG des aciers inoxydables austénitiques, qui contient de l'hélium pour assurer un bon mouillage et de hautes performances. Arcal 121 est un gaz ternaire (argon/dioxyde de carbone/hélium) qui permet d'accroître les vitesses de soudage par rapport à un gaz standard, avec une teneur en hélium réduisant les effluents nocifs des fumées de soudage.

L'hélium est également utilisé comme additif dans les mélanges gazeux pour le soudage MAG des aciers non et faiblement alliés. Eloxal 35, peu oxydant et très pénétrant, est un exemple qui peut s'appliquer aussi bien aux fils fourrés qu'aux fils pleins et qui assure une bonne maniabilité

du mode opératoire et une bonne compacité du joint soudé. Il est important de noter que le débit de gaz doit être réajusté en fonction de la teneur en hélium, afin de compenser la faible densité de ce gaz.

II.9.3 Les gaz en soudage TIG :

Le soudage TIG permet de souder la plupart des métaux et alliages en toutes positions. Il s'emploie en soudage manuel, automatique et robotique. La fonction première du gaz de soudage consiste à protéger l'électrode et le bain de fusion. Pour remplir la fonction de protection, il est nécessaire d'utiliser un gaz inerte. Le gaz en s'ionisant, libère des électrons et participe à créer l'arc et à le stabiliser. Il doit donc s'ioniser facilement. Par son caractère de gaz inerte et son faible potentiel d'ionisation - 15,7 eV - l'argon et l'Arcal 1 remplissent ces deux fonctions. Arcal 1 est le plus souvent utilisé seul ou en mélange avec une addition d'hydrogène – Arcal 10 ; Arcal 15 ou avec de l'hélium – Arcal 31 ; Arcal 32 et Arcal 37. Ce qui permet d'améliorer :

- les performances,
- le profil du cordon,
- la maniabilité.

Il faut préciser qu'en fonction du mélange gazeux utilisé les paramètres de soudage devront être adaptés du fait du pouvoir ionisant différent des gaz additionnels et donc d'une tension d'arc plus élevée. [17]

II.9.3.1 Argon et arc 1 :

C'est le gaz polyvalent pour souder une grande variété de matériaux : des métaux lourds depuis l'acier au carbone et les aciers inoxydables, jusqu'aux métaux sensibles à l'oxydation tel le titane, le zirconium...

L'évolution des exigences qualité a conduit au développement du gaz Arcal 1 qui se substitue à l'argon. Il favorise l'amorçage et une bonne protection du métal fondu.

II.9.3.2 Hélium et mélanges argon hélium [16] :

L'hélium présente une différence avec l'argon en raison de son fort potentiel d'ionisation, ce qui entraîne une conductivité thermique plus élevée. Par conséquent, pour une intensité et une longueur d'arc données, l'utilisation d'hélium ou une addition d'hélium nécessite une tension d'arc supérieure. Les résultats de soudage obtenus permettent de :

- Améliorer les performances
- Souder de plus fortes épaisseurs en contrôlant l'énergie
- Réduire des préparations de joints
- Favoriser un profil de cordon de soudure – forme de pénétration et cordon extérieur

Il est important de noter que la densité de l'hélium est 10 fois inférieure à celle de l'argon, ce qui signifie que la protection gazeuse nécessite un débit plus important. En ce qui concerne le soudage TIG, la teneur en hélium ne dépasse généralement pas 70 %, car au-delà de cette valeur, il peut y avoir des difficultés d'amorçage et des instabilités d'arc significatives.

II.9.3.3 Addition d'hydrogène [14] :

L'hydrogène est souvent ajouté à l'argon pour augmenter la température de l'arc et profiter de ses propriétés de gaz réducteur. Toutefois, la quantité d'hydrogène ajoutée doit être limitée afin d'éviter le risque de soufflures dans les cordons, notamment lorsque les paramètres d'intensité et de longueur d'arc sont fixés.

Il est important de noter que les mélanges gazeux contenant de l'hydrogène produisent une tension d'arc plus élevée que l'argon ou l'hélium pur. Les gaz généralement utilisés sont Arcal 10 et Arcal 15 qui présentent les avantages suivants :

- Augmentation de la vitesse de soudage pour des applications automatiques ou robotiques.
- Réduction des déformations de par une diminution des paramètres en soudage manuel.
- Augmentation de la profondeur de pénétration de la zone fondue.
- Amélioration de l'aspect du cordon de soudure
- Réduction des éléments nocifs dans les fumées de soudage.
- Influence sur la tension de l'arc.

Pour une épaisseur à souder, il est possible de réduire l'intensité de soudage pour accroître la vitesse de soudage. L'augmentation de la tension d'arc en fonction du taux d'hydrogène et d'hélium dans l'argon. Les courbes montrent que l'hélium a une tension d'arc plus faible que l'hydrogène. Pour obtenir les mêmes caractéristiques d'arc, la teneur en hélium doit être relativement élevée. L'hélium très conducteur de la chaleur et en quantité importante dans le mélange, a tendance à dilater l'arc et à élargir la zone fondue. Les mélanges argon/hélium sont utilisés lorsque l'hydrogène n'est pas compatible avec le matériau à souder. Ces mélanges sont particulièrement bien adaptés au soudage de l'aluminium. Si l'hydrogène apporte certains avantages, il est important de citer les inconvénients et les conditions d'utilisation de ces mélanges.

- Fissuration à froid : Ces fissures apparaissent à une température $< 200^{\circ}\text{C}$ et se positionnent le plus souvent dans la zone thermiquement affectée. Il est possible d'en trouver dans le métal fondu lorsque celui-ci possède une très haute limite d'élasticité. Les matériaux ayant une structure peu ductile ainsi que ceux contenant des bas carbones sont sensibles à la fissuration à froid.

- Soufflures : L'hydrogène pouvant entraîner des porosités dans le métal fondu, les mélanges contenant un additif d'hydrogène ne peuvent pas s'utiliser sur des aciers ferritiques, et sur de l'aluminium (très sensible aux porosités) et alliages.

II.9.3.4 Azote :

Inerte à température ambiante, l'azote est un gaz diatomique qui se dissocie dans l'arc.

Par recombinaison à la surface de la pièce, il dégage plus d'énergie que l'argon et l'hélium qui sont monoatomiques. Cet avantage n'est pas utilisé pour le soudage des aciers ferritiques et inoxydables. En effet, la fixation de l'azote dans le bain de fusion réduirait les caractéristiques mécaniques et la résistance à la corrosion. A noter qu'il n'y a pas de problèmes particuliers sur les inox austénitiques à une faible teneur.

A contrario, l'azote est utilisé en complément de l'argon – Arcal 39 - lors du soudage des aciers Duplex. Il abaisse le taux de ferrite et favorise la microstructure austéno-ferritiques après soudage. Ce gaz est largement utilisé en protection envers des soudures. Choix du gaz pour les applications TIG tous matériaux [16]

II.9.4 Gaz et matériaux en soudage TIG :

Il est essentiel d'avoir un gaz protecteur inerte, ou légèrement réducteur pour obtenir une soudure de plus bel aspect. L'amélioration constante des performances a conduit à l'emploi de mélanges gazeux. Ces gaz ne sont pas utilisables sur tous métaux aussi faut-il tenir compte de la compatibilité métallurgique.

II.9.4.1 Aciers au carbone non et faiblement alliés :

L'argon et l'Arcal 1 sont utilisés comme gaz protecteurs aussi bien pour le soudage manuel que pour le soudage automatique. D'un point de vue pratique, pour des épaisseurs < 3 mm, l'Arcal 1 est préférable car il favorise la maîtrise du bain de fusion notamment sur des applications tubulaires ou en passe de fond. Sur des épaisseurs plus fortes, une addition d'hélium permet de favoriser les performances. Arcal 31, Arcal 32 et Arcal 37 sont des mélanges qui améliorent le mouillage des cordons et les vitesses de soudage. L'hydrogène n'est pas utilisé à cause du risque de fissuration, principalement sur les aciers non ou faiblement alliés.

II.9.4.2 Aciers inoxydables :

Leur structure est donnée en fonction des éléments alphagènes – Chrome ; Molybdène ; Silicium ; Niobium, et les éléments gammagènes – Nickel ; Manganèse ; Carbone.

En fonction de leur composition, et de la structure obtenue, les aciers inoxydables sont classés en plusieurs types :

- Austénitiques
- Ferritiques

- Martensitiques
- Austéno-ferritiques

L'argon reste un gaz polyvalent pour les opérations de soudage manuel sur différentes épaisseurs et positions de soudage. Arcal 1 donne les mêmes valeurs de polyvalence tout en apportant une meilleure protection du métal fondu et un amorçage aisé. Ce gaz est très utilisé parce qu'il facilite la conduite du bain de fusion. Arcal 10 permet d'obtenir un cordon propre et brillant. Il est cependant possible d'obtenir un arc plus énergétique avec Arcal 10 et 15 pour favoriser la :

- Forme du cordon
- Diminution du risque de caniveaux
- Forme de pénétration
- Vitesse de soudage

Il faut toutefois noter qu'en soudage manuel, il est fréquent que le soudeur réduise ses paramètres pour maintenir sa manière de faire. Dans ce cas, seul l'effet réducteur est bénéfique. Pour des applications en soudage TIG automatique, Arcal 11 permet d'obtenir de grandes vitesses de soudage et une forte pénétration. Ce gaz ternaire permet d'ajouter les avantages liés à une présence d'hydrogène et d'hélium. D'autres mélanges tels que Arcal 32 et Arcal 37 sont cependant peu utilisés en soudage TIG des aciers inoxydables du fait que Arcal 10 et 15 sont plus efficaces en termes de productivité en raison des caractéristiques physiques de ces gaz.

Arcal 31 est un gaz polyvalent avec les avantages techniques liés à la présence d'hélium comme gaz additionnel. L'hélium améliore l'environnement du soudeur notamment au regard des fumées de soudage. Pour les aciers inoxydables de structures ferritiques et martensitiques, Arcal 10 et Arcal 15 ne sont pas conseillés en raison du risque de fissuration par l'hydrogène.

II.9.4.3 Aciers austéno-ferritiques :

Appelés le plus souvent aciers inoxydables Duplex, ils sont utilisés pour leurs caractéristiques de traction et leur résistance à la corrosion. Ces aciers présentent à la température ambiante une structure constituée sensiblement de 50 % de ferrite et 50 % d'austénite.

L'opération de soudage tend à déséquilibrer cette proportion. L'utilisation de l'argon comme gaz de protection aboutit à une perte d'azote dans le métal fondu et de fait, réduit le taux d'austénite.

II.9.4.4 Bases nickel :

Arcal 1 et les mélanges types Arcal 31 et Arcal 32 sont utilisés pour le soudage des bases Nickel et alliages. Une addition d'hélium permet d'obtenir un arc plus chaud, ce qui permet de

favoriser les vitesses de soudage en réduisant le risque de formation de soufflures, notamment en soudage automatique. Arcal 10 et Arcal 15 permettent d'obtenir également un bain de fusion doux et favorisent les vitesses de soudage et pénétration.

II.9.4.5 Aluminium et alliages d'aluminium [17]:

L'aluminium se soude très fréquemment en soudage TIG sans limite d'épaisseur. Cependant, au-delà de 6 mm, souvent les assemblages sont réalisés en MIG, voire une première passe TIG et remplissage en MIG. La principale difficulté pour l'opération de soudage est la présence de la couche d'alumine ou oxyde d'aluminium qui ne fond qu'à 2050°C alors que la température de fusion du métal est de 658°C. C'est pour cette raison que l'on emploie le courant alternatif afin de bénéficier de l'action décapante assurée par le flux d'électrons allant de la pièce à l'électrode pendant l'alternance positive. Arcal 1 est utilisé en soudage manuel car l'amorçage de l'arc est plus facile.

Les mélanges Arcal 31 et 32, par la présence d'hélium, permettent d'obtenir un arc plus énergétique, et de ce fait augmente la pénétration voire la réduction du nombre de passes sur des matériaux épais. La présence d'hélium dans ces mélanges permet un meilleur dégazage du bain de fusion ce qui diminue le risque de porosités.

II.9.4.6 Titane – Zirconium - tantale et leurs alliages :

Ces matériaux sont très sensibles à l'oxydation. C'est pourquoi ils sont soudés uniquement avec des gaz inertes. On peut aussi bien utiliser Arcal 1 que l'hélium, en soudage manuel, ou automatique pour des épaisseurs < 4 mm. Pour de plus fortes épaisseurs, l'hélium sera préféré pour ses qualités de conductibilité thermique et sa plus forte tension à l'arc. Il sera ainsi possible d'obtenir une pénétration plus importante et réduire le nombre de passes.

Quoi qu'il en soit, les gaz devront être exempts de toutes impuretés afin d'éviter une réduction de la résistance à la rupture du métal fondu et une oxydation de surface due à la fixation d'une présence d'azote et d'oxygène. Une protection gazeuse par traînard est éminemment souhaitable.

II.9.5 Influences des composants du gaz de protection [18]:

- **Argon gaz inerte** : composant de base pour l'élaboration de mélanges ; favorise la formation de l'arc électrique.
- **Hélium gaz inerte** : augmente la vitesse de soudage et la température du bain ; moins de fumées et d'émanations polluantes.
- **H₂ gaz réducteur** : améliore la pénétration ainsi que l'aspect du cordon de soudure et la zone environnante.

CHAPITRE II Les gaz de protection

- **O₂ gaz oxydant** : stabilise l'arc électrique et améliore la pénétration.
- **CO₂ gaz oxydant** : augmente la viscosité du bain de fusion et la formation d'éclaboussures

Selon la nature du métal à souder , on peut utiliser le procédé MIG avec un gaz inerte , soit généralement l'argon (Ar) ou l'hélium (He) ou encore un mélange des deux (Ar+ He) . Quant au procédé MAG il emploie des gaz actifs tels que le gaz carbonique (CO₂) ou un mélange (AR+CO₂) ou un mélange (AR+O₂) ou encore un mélange des trois gaz tels que (He+AR+CO₂) voir même (Ar+CO₂+H₂), le choix dépend du métal a souder comme montre le tableau 04

Tableau 04 :application gaz de protection :

gaz	application
Argon (Ar)	Soudage de la majorité des métaux non ferreux
Hélium(He)	Soudage de l'aluminium et de cuivre
Co₂	Soudage des aciers au carbone et des aciers faiblement alliés
Ar (75%) et He (25%) Ar (50%) et He (50%) Ar (25%) et He (75%)	Soudage de l'aluminium, du cuivre et de leurs alliages
Ar (98%) et O₂ (2%)	Soudage des aciers alliés et inoxydables
Ar (90%) et Co₂ (10%) Ar (85%) et Co₂ (15%) Ar (75%) et Co₂ (25%) Ar (98%) et O₂ (2%) Ar (95%) et O₂ (5%)	Soudage de la plupart des aciers pour soudage en mode pulsé
He (90%), Ar (7,5%) et Co₂ (2,5%) Ar (98%) et O₂ (2%) Ar (96,5%) et Co₂ (2,5%) et H₂ (1%)	Soudage des aciers inoxydables

II.10 : Couleur des ogives des bouteilles de gaz :

Les ogives des bouteilles de gaz sont généralement de couleur spécifique pour indiquer le type de gaz qu'elles contiennent. Les codes de couleur varient en fonction des pays et des normes de sécurité spécifiques. Comme indiqué dans la figure 28

Identification des bouteilles de gaz			
Règle générale suivant norme NF EN 1089.3 4 couleurs			
- Inerte / Asphyxiant  - Inflammable  - Toxique et/ ou corrosif  - Oxydant 			
Désignation gaz ou mélange	Couleur normalisée	Ancienne couleur de l'ogive	Nouvelle couleur de l'ogive
Oxygène O_2	Blanc		
Acétylène C_2H_2	Havane		
Propane C_3H_8	Rouge		
Tétrène Spécifique air liquide	Rouge		
Argon Ar	Vert foncé		
Argon / CO_2 Ar / CO_2	Vert clair		
Anhydrite carbonique CO_2	Gris		
Hélium He	Gris foncé		
Azote N	Noir		
Argon / Hélium Ar / He	Vert clair		

Figure 28 : Couleur des ogives des bouteilles de gaz

CHAPITRE III

Gaz utilisés dans les procédés MIG, MAG ET TIG

III.1. Introduction :

Le soudage est un processus qui consiste à joindre deux ou plusieurs pièces de métal en utilisant de la chaleur et/ou de la pression. Lorsque la chaleur est utilisée pour souder les pièces, il est important de protéger le métal fondu et le joint de soudure de l'air ambiant, qui peut contenir de l'oxygène et de l'humidité. Si le métal fondu est exposé à l'air ambiant, cela peut entraîner des défauts dans le joint de soudure et affaiblir sa résistance mécanique.

C'est là qu'intervient le gaz de protection. Les gaz de protection sont utilisés pour créer un environnement inerte autour de la zone de soudage. En utilisant le gaz de protection approprié, on peut empêcher l'oxydation et la formation de porosités dans le joint de soudure, ainsi que réduire la formation de particules de fumée nocives.

Le choix du gaz de protection dépend de plusieurs facteurs, notamment le type de métal à souder, le type de soudage utilisé (par exemple, le soudage MIG ou TIG), les propriétés du gaz de protection (telles que la densité et la conductivité thermique), ainsi que le coût et la disponibilité du gaz.

En général, l'argon est le gaz de protection le plus couramment utilisé dans le soudage TIG, tandis que le mélange de gaz argon/hélium est souvent utilisé dans le soudage MIG pour souder des métaux plus épais. Pour les métaux réactifs tels que l'aluminium, il est souvent nécessaire d'utiliser des gaz de protection spéciaux tels que l'hélium pur ou le mélange argon/hélium.

III.2: Informations supplémentaires sur les différents gaz de protection utilisés dans les procédés MIG et MAG et TIG :

III.2.1 : Argon : L'argon est le gaz de protection le plus couramment utilisé dans le soudage TIG. Il est inerte, non réactif et peut être utilisé pour souder une variété de métaux tels que l'acier inoxydable, l'aluminium et le cuivre. Il est également utilisé pour les opérations de soudage à l'arc submergé.

L'argon est incolore, inodore, ininflammable et non toxique aussi bien à l'état gazeux que liquide ou solide. Sa solubilité dans l'eau est à peu près comparable à celle de l'oxygène et vaut 2,5 fois celle de l'azote. Il est chimiquement inerte dans à peu près toutes les conditions et ne forme aucun composé chimique confirmé à température ambiante.

L'argon est cependant susceptible de former des composés chimiques dans certaines conditions extrêmes hors équilibre. Le fluorohydrure d'argon (HarF) a ainsi été obtenu par photolyse ultraviolette de fluorure d'hydrogène HF dans une matrice cryogénique d'iodure de césium (CsI) et d'argon Ar ; stable en dessous de 27 K (−246,15 °C), il a été identifié

par spectroscopie infrarouge. Le fluorohydrure d'argon est le seul composé connu de l'argon qui soit neutre et stable à l'état fondamental.

L'argon peut également former des clathrates dans l'eau lorsque ses atomes sont emprisonnés dans le réseau tridimensionnel formé par la glace. Il existe par ailleurs des ions polyatomiques contenant de l'argon, comme le cation hydrure d'argon ArH^+ , et des exciplexes, tels qu' Ar_2^* et ArF^* . Divers composés présentant des liaisons Ar-C et Ar-Si stables ont été prédits par simulation numérique mais n'ont pas été synthétisés en laboratoire.[19.20.21.22.]

➤ **Risque :**

Tout comme l'hélium, l'argon n'est pas dangereux à faible concentration. Toutefois, il est 38 % plus dense que l'air et l'inhalation d'une grande quantité d'argon comporte des risques d'asphyxie par privation d'oxygène (anoxie); ceci peut se produire par exemple lors d'opérations de soudage dans un espace confiné.

III.2.2 : Hélium : L'hélium est un gaz de protection utilisé dans le soudage MIG pour les métaux épais tels que l'acier. Il est également utilisé pour le soudage TIG de l'aluminium et de l'acier inoxydable. L'hélium est plus léger que l'argon, ce qui signifie qu'il a une meilleure capacité à souffler les scories et à pénétrer les métaux plus épais.

L'hélium est l'élément chimique de numéro atomique 2, de symbole He. C'est un gaz noble (ou gaz rare), pratiquement inerte, le premier de la famille des gaz nobles dans le tableau périodique des éléments. Son point d'ébullition est le plus bas parmi les corps connus, et il n'existe sous forme solide que s'il est soumis à une pression supérieure à 25 atmosphères.

L'hélium possède deux isotopes stables : l'hélium 4 (^4He), le plus abondant, et l'hélium 3 (^3He). Ces deux isotopes, contrairement à ceux de la plupart des éléments chimiques, diffèrent sensiblement dans leurs propriétés, car le rapport de leurs masses atomiques est important. D'autre part, les effets quantiques, sensibles à basse énergie, leur donnent des propriétés très différentes. Le présent article traite essentiellement de l'hélium 4 (^4He). L'article Hélium 3 compile les propriétés spécifiques de l'isotope ^3He .

Le mot hélium a été construit à partir du grec Helios (Ἥλιος / Hélios, « le Soleil »), cet élément ayant été observé pour la première fois dans le spectre solaire le 18 août 1868, au cours d'une éclipse totale de Soleil, par l'astronome Jules Janssen.

L'hélium est, après l'hydrogène, l'élément le plus abondant dans l'Univers. L'essentiel de cet hélium a été produit lors de la nucléosynthèse primordiale mais d'autres processus en

produisent, notamment la radioactivité α (sous-section Abondance naturelle). Sur la Terre, selon une estimation du Bureau of Land Management des États-Unis de 2006, les ressources d'hélium totalisent 52 milliards de mètres cubes.

L'hélium a divers usages en forte croissance, alors que la production industrielle a diminué pour des raisons conjoncturelles : sa raréfaction devient inquiétante. Cependant, le marché de l'hélium est calme en 2016, et il est récemment passé de la pénurie au surplus. [23.24.25]

III.2.3. Dioxyde de carbone (CO₂) : Le CO₂ est souvent utilisé dans le soudage MIG pour les métaux tels que l'acier doux. Il est moins cher que l'argon ou l'hélium, mais il peut être plus difficile à utiliser en raison de sa conductivité thermique plus élevée.

Le dioxyde de carbone, aussi appelé gaz carbonique ou anhydride carbonique, est un composé inorganique dont la formule chimique est CO₂, Il se présente, sous les conditions normales de température et de pression, comme un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante

Le CO₂ est un gaz à effet de serre majeur, transparent en lumière visible mais absorbant dans le domaine infrarouge, de sorte qu'il tend à bloquer la réémission vers l'espace de l'énergie thermique reçue au sol sous l'effet du rayonnement solaire. Il est responsable d'environ 26 % de l'effet de serre à l'œuvre dans l'atmosphère terrestre

Mélange argon/hélium : Le mélange argon/hélium est souvent utilisé dans le soudage MIG pour souder des métaux plus épais. Le pourcentage de chaque gaz varie en fonction de l'épaisseur du matériau à souder.

Mélange argon/CO₂ : Le mélange argon/CO₂ est souvent utilisé dans le soudage MIG pour les métaux tels que l'acier doux. Le pourcentage de chaque gaz varie en fonction de l'application de soudage spécifique.

III.3.les gaz les plus utilise :

III.3.1 : POUR LE PROCEDE DE SOUDAGE MIG :

L'argon est souvent utilisé dans le soudage MIG car il est un gaz inerte. Les gaz inertes ne réagissent pas avec les autres substances à température ambiante, ce qui les rend idéaux pour protéger les soudures contre l'oxydation et la contamination. Dans le soudage MIG, l'argon est utilisé comme gaz de protection pour le bain de fusion et pour empêcher la contamination atmosphérique. Le gaz est envoyé à travers un pistolet de soudage MIG pour envelopper le métal fondu et empêcher l'oxydation. De plus, l'argon est un gaz dense et lourd, ce qui signifie qu'il reste près du soudage et ne se disperse pas facilement dans l'air environnant. Cela rend

l'argon plus efficace pour protéger la soudure contre la contamination que d'autres gaz inerte plus légers comme l'hélium ou le gaz carbonique.

L'utilisation de l'argon en tant que gaz de protection dans le soudage MIG est courante en raison de son inertie et de sa densité, ce qui en fait un choix efficace pour prévenir l'oxydation et la contamination des soudures. En plus de sa capacité à prévenir l'oxydation et la contamination des soudures, l'utilisation de l'argon dans le soudage MIG présente d'autres avantages :

- Amélioration de la qualité de la soudure : L'argon peut aider à produire des soudures de haute qualité en réduisant les défauts tels que les pores, les fissures et les inclusions. Cela est dû à la capacité de l'argon à protéger le bain de fusion contre l'oxydation, la contamination et les éléments atmosphériques qui peuvent altérer la qualité de la soudure.
- Réduction des projections : Les projections sont des éclaboussures de métal fondu qui peuvent adhérer à la surface de la soudure et la rendre rugueuse. L'utilisation de l'argon peut aider à réduire les projections en stabilisant l'arc électrique et en réduisant la tension superficielle du métal fondu.
- Augmentation de la vitesse de soudage : L'argon permet également d'augmenter la vitesse de soudage en permettant l'utilisation d'un arc électrique plus stable et en réduisant le temps nécessaire pour nettoyer et préparer la zone de soudure.
- Élimination du besoin de nettoyage post-soudage : En raison de la capacité de l'argon à prévenir la contamination et l'oxydation, il peut être possible de réduire ou d'éliminer complètement le besoin de nettoyage post-soudage, ce qui peut permettre de gagner du temps et des coûts.

En somme, l'utilisation de l'argon dans le soudage MIG offre une variété d'avantages qui peuvent améliorer la qualité de la soudure, augmenter la vitesse de soudage et réduire les coûts et le temps nécessaires pour produire une soudure de haute qualité

III.3.2 : POUR LE PROCÉDE DE SOUDAGE MAG :

Le gaz CO₂ est souvent utilisé dans le soudage MAG comme gaz de protection. Le soudage MAG est un processus de soudage à l'arc électrique dans lequel une électrode continue sous forme de fil est alimentée à travers une torche de soudage et fondue pour former une soudure avec le métal de base.

Le gaz de protection est utilisé pour protéger la soudure fondue et le métal de base contre les contaminants atmosphériques tels que l'oxygène et l'azote, qui peuvent réagir avec le métal

fondue et causer des porosités ou des défauts de soudure. Le gaz CO₂ est souvent utilisé comme gaz de protection dans le soudage MAG car il est abondant, peu coûteux et facilement disponible.

Le gaz a également l'avantage de fournir une protection plus profonde pour les soudures, ce qui permet une soudure plus stable et une meilleure pénétration. Cependant, ce gaz a tendance à produire plus de projections de soudure que certains autres gaz de protection, ce qui peut nécessiter un nettoyage plus approfondi après le soudage. Le gaz CO₂ est utilisé dans le soudage MAG comme gaz de protection pour empêcher la contamination atmosphérique de la soudure fondue et du métal de base, et pour fournir une protection plus profonde pour une meilleure qualité de soudure.

Le CO₂ peut être utilisé seul comme gaz de protection ou en mélange avec d'autres gaz tels que l'argon. Les mélanges de gaz peuvent être personnalisés en fonction du matériau de base à souder, de l'épaisseur du matériau et des exigences de qualité de soudure. Le choix entre le CO₂ pur et les mélanges de gaz dépend souvent de la qualité de soudure requise et du coût. Les mélanges de gaz peuvent fournir une meilleure qualité de soudure et une meilleure maniabilité de l'arc, mais ils peuvent être plus coûteux que le CO₂ pur.

En outre, le choix du gaz de protection dépend également du type de métal utilisé. Par exemple, le CO₂ pur peut être plus approprié pour le soudage de l'acier au carbone, tandis que les mélanges de gaz peuvent être plus appropriés pour le soudage de l'acier inoxydable ou de l'aluminium.

Enfin, il est important de noter que le choix du gaz de protection ne doit pas être le seul facteur pris en compte lors du soudage. Les paramètres de soudage tels que le courant, la tension, la vitesse d'alimentation du fil et la distance entre la torche et le matériau sont également très importants pour obtenir une soudure de qualité.

III.3.3 : POUR LE PROCÉDE DE SOUDAGE TIG :

L'hélium est souvent utilisé comme gaz de protection dans le soudage TIG en raison de ses propriétés particulières. Le soudage TIG est un processus de soudage à l'arc électrique qui utilise une électrode de tungstène non consommable pour faire fondre le matériau de base. Le gaz de protection est utilisé pour protéger la zone de soudage de l'air ambiant et prévenir la contamination.

Voici les principales raisons pour lesquelles l'hélium est souvent utilisé comme gaz de protection dans le soudage TIG :

- Stabilité de l'arc : L'hélium a une conductivité thermique élevée, ce qui signifie qu'il peut dissiper la chaleur générée lors du soudage plus rapidement que d'autres gaz de protection. Cela permet à l'arc de rester plus stable pendant le processus de soudage, ce qui facilite le contrôle de l'arc et la qualité de la soudure.
- Pénétration de la soudure : L'hélium a une densité plus faible que l'air, ce qui signifie qu'il a une capacité de pénétration plus élevée. Cela permet au gaz de pénétrer plus profondément dans la zone de soudage, ce qui peut améliorer la qualité de la soudure en augmentant la pénétration de la soudure.
- Vitesse de soudage : L'hélium a une conductivité thermique plus élevée que les autres gaz de protection, ce qui permet de souder à des vitesses plus élevées. Cela permet de souder des pièces plus rapidement, ce qui peut être avantageux en termes de temps et de coûts de production.

Cependant, il convient de noter que l'utilisation d'hélium peut également présenter certains inconvénients. L'hélium est plus coûteux que d'autres gaz de protection tels que l'argon, ce qui peut augmenter les coûts de production. De plus, l'hélium peut être plus difficile à contrôler en raison de son caractère volatile, ce qui peut nécessiter une formation et une expertise plus approfondies pour les soudeurs. En outre, l'utilisation de l'hélium comme gaz de protection peut également présenter d'autres avantages et inconvénients, notamment :

- Contrôle de la chaleur : L'hélium peut aider à réduire la taille de la zone affectée par la chaleur (ZAC) autour de la zone de soudage. Cela peut aider à minimiser la déformation et la distorsion du matériau de base pendant le processus de soudage.
- Propriétés inertes : L'hélium est un gaz inerte, ce qui signifie qu'il ne réagit pas avec les métaux. Cela permet de minimiser la contamination et les impuretés dans la zone de soudage.

III.4 : Différence entre gaz actif et inerte :

Les gaz inertes et actifs sont deux types différents de gaz en fonction de leur réactivité chimique. Un gaz inerte est un gaz qui ne réagit pas facilement avec d'autres substances chimiques. Les gaz inertes les plus courants sont l'argon, l'hélium, le néon. Les gaz inertes sont souvent utilisés dans des applications où la réactivité chimique est indésirable, comme pour remplir des

ampoules de lumière pour éviter la corrosion ou comme gaz de protection dans les procédés de soudage pour éviter l'oxydation.

En revanche, un gaz actif est un gaz qui est très réactif chimiquement et qui peut réagir facilement avec d'autres substances chimiques. Les gaz actifs les plus courants sont l'oxygène, l'hydrogène, le chlore et le fluor. Les gaz actifs sont souvent utilisés dans des applications où la réactivité chimique est souhaitable, comme dans les processus de combustion ou dans les réactions chimiques qui nécessitent des gaz pour réagir avec d'autres composants.

En résumé, les gaz inertes ne réagissent pas facilement avec d'autres substances chimiques, tandis que les gaz actifs sont très réactifs et peuvent réagir facilement avec d'autres substances.

Conclusion :

En résumé, le choix du gaz de protection approprié est essentiel pour garantir des joints de soudure de haute qualité et pour assurer la sécurité des soudeurs. Il est donc important de comprendre les propriétés des différents gaz de protection disponibles et de choisir celui qui convient le mieux à votre application de soudage spécifique.

En général, les gaz de protection sont disponibles sous forme de bouteilles de gaz comprimé. Il est important de suivre les précautions de sécurité appropriées lors de la manipulation et de l'utilisation de ces bouteilles, car les gaz comprimés peuvent être dangereux s'ils ne sont pas manipulés correctement.

Conclusion générale :

En général, les gaz de protection les plus couramment utilisés dans ces procédés de soudage sont l'argon, l'hélium et le mélange d'argon/hélium, ainsi que les gaz actifs tels que le dioxyde de carbone et le mélange d'argon/dioxyde de carbone. Le choix du gaz dépend des propriétés du matériau à souder, de l'épaisseur de la pièce, du type de soudure et des exigences de qualité. Le gaz de protection a plusieurs fonctions importantes dans le processus de soudage. Il protège le bain de fusion et l'électrode contre l'oxydation, prévient la formation de pores et de fissures, réduit les projections, améliore la qualité de la soudure et accélère la vitesse de soudage. De plus, le choix du gaz de protection peut influencer la forme de l'arc électrique, la pénétration et la largeur de la soudure.

Les mélanges de gaz de protection ont été développés pour répondre à des besoins spécifiques de soudage, tels que l'augmentation de la pénétration, la réduction des projections et l'amélioration de la qualité de la soudure. Les mélanges d'argon et de dioxyde de carbone sont couramment utilisés pour le soudage des aciers au carbone, tandis que les mélanges d'argon et d'hélium sont utilisés pour le soudage de matériaux plus épais et pour le soudage à haute intensité.

En fin de compte, le choix du gaz de protection et de son mode d'application est essentiel pour obtenir des soudures de qualité et pour assurer la sécurité des opérateurs.

Références Bibliographiques :

- [1] R. Blondeau. Procédés et application industrielle du soudage. LAVOISIER Paris, 2001.
- [2] K. Weman. Aide-mémoire : procédés de soudage. Dunod Paris, 2005.
- [3] André Beyer, chef de projet recherche – CTICM –. Procédés de soudage en construction métallique, Mars (2020),
- [4] BELABED Abdelmadjid (2016-2017), Analyse des défauts et étude de la fissuration par fatigue dans les soudures d'angles, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER. (2016-2017)
- [5] A. Michel. Pièces mécaniques soudées (rappels et définitions). Technique d'ingénieur, (BM 5 185), 2006.
- [6] Dr TOUALBIA Djamel, Cours de : Soudage et rechargement, Destiné aux étudiants de la deuxième année Master sciences et technique, Option : Maintenance industrielle.
- [9] Bergquist, E. L., Huhtala, T., and Karlsson, L. 2011. The effect of purging gas on 308L TIG root pass ferrite content. Welding in the World 3/4, 55: 57–64.
- [10] Ödegard, L., and Fager, S. A. 1993. The pitting resistance of stainless-steel welds. Australasian Welding Journal, Second quarter, 24–26.
- [11] Andersen, N. E. Welding stainless pipes, key technology for process industry applications. Svetsaren 1/2; 53–56.
- [13] Gaz de protection pour soudage MIG / MAG, TIG (WIG), Plasma CARBAGAS AG Hofgut 3073 Gümligen www.carbagas.ch
- [14] Markku Räsänen, « Argon out of thin air », Nature Chemistry, vol. 6, n° 1, janvier 2014, article n° 82
- [15]: Documents Technique COSIDER Biskra 2012
- [16]: Leonid Khriachtchev, Mika Pettersson, Nino Runeberg, Jan Lundell et Markku Räsänen, « A stable argon compound », Nature, vol. 406, n° 6798, 24 août 2000, p. 874-876
- [17]: V. R. Belosludov, O. S. Subbotin, D. S. Krupskii, O. V. Prokuda, R. V. Belosludov et Y. Kawazoe, « Microscopic model of clathrate compounds », Journal of Physics: Conference Series, vol. 29, no 1, janvier 2006, p. 1-7
- [18]: Arik Cohen, Jan Lundell et R. Benny Gerber, « First compounds with argon–carbon and argon–silicon chemical bonds », Journal of Chemical Physics, vol. 119, n° 13, octobre 2003, p. 6415-6417

[19]: Markku Räsänen, « Argon out of thin air », Nature Chemistry, vol. 6, no 1, janvier 2014, article no 82 (PMID 24345939, DOI 10.1038/nchem.1825, lire en ligne [archive])

[20]: Leonid Khriachtchev, Mika Pettersson, Nino Runeberg, Jan Lundell et Markku Räsänen, « A stable argon compound », Nature, vol. 406, no 6798, 24 août 2000, p. 874-876 (PMID 10972285, DOI 10.1038/35022551, Bibcode 2000Natur.406..874K, lire en ligne [archive])

[21]: V. R. Belosludov, O. S. Subbotin, D. S. Krupskii, O. V. Prokuda, R. V. Belosludov et Y. Kawazoe, « Microscopic model of clathrate compounds », Journal of Physics: Conference Series, vol. 29, no 1, Janvier 2006, p. 1-7 (DOI 10.1088/1742-6596/29/1/001, Bibcode 2006JPhCS.29.1B, lire en ligne [archive])

[22]: Documents Technique COSIDER Biskra 2012

[23]: K. Weman. Aide-mémoire : procédés de soudage. Dunod Paris, 2005.

[25]: R. Cazes. Procédés de soudage (principes généraux et critères de choix). Technique d'ingénieur, (B 7 700), 1995.

Références Webographie :

[7]: <http://tandems.free.fr/mountain/bricolage/cadre/soudure/soudure.html>,
<https://www.ksrsoudage.ch/soudage-et-coupage/equipements-de-soudage-et-coupage/machines-de-soudage-kemppi/master-m-353-355-358>

[8]: <http://www.inrs.fr/> , Institut National de Recherche et de sécurité,

[12] <https://www.rocdacier.com/cours-soudure-tig/>

[24]: <https://www.soudeurs.com/site/role-et-choix-du-gaz-de-protection-selon-air-liquide-969/>