

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 : Assemblage soudés et matériaux

Par : YAHIAOUI Mohamed Abdeldjalil Seifeddine

Sujet

Etude du choix du type de bord des pièces à souder pour des différents procédés de soudage

Soutenu publiquement, le 27 / 09 /2023 , devant le jury composé de :

Mr SEBAA Fethi

PR

Université de Tlemcen

Président

Mr BENSALD Ismail

MCA

Université de Tlemcen

Examineur

Mr ACHOUI Mohamed

MCB

Université de Tlemcen

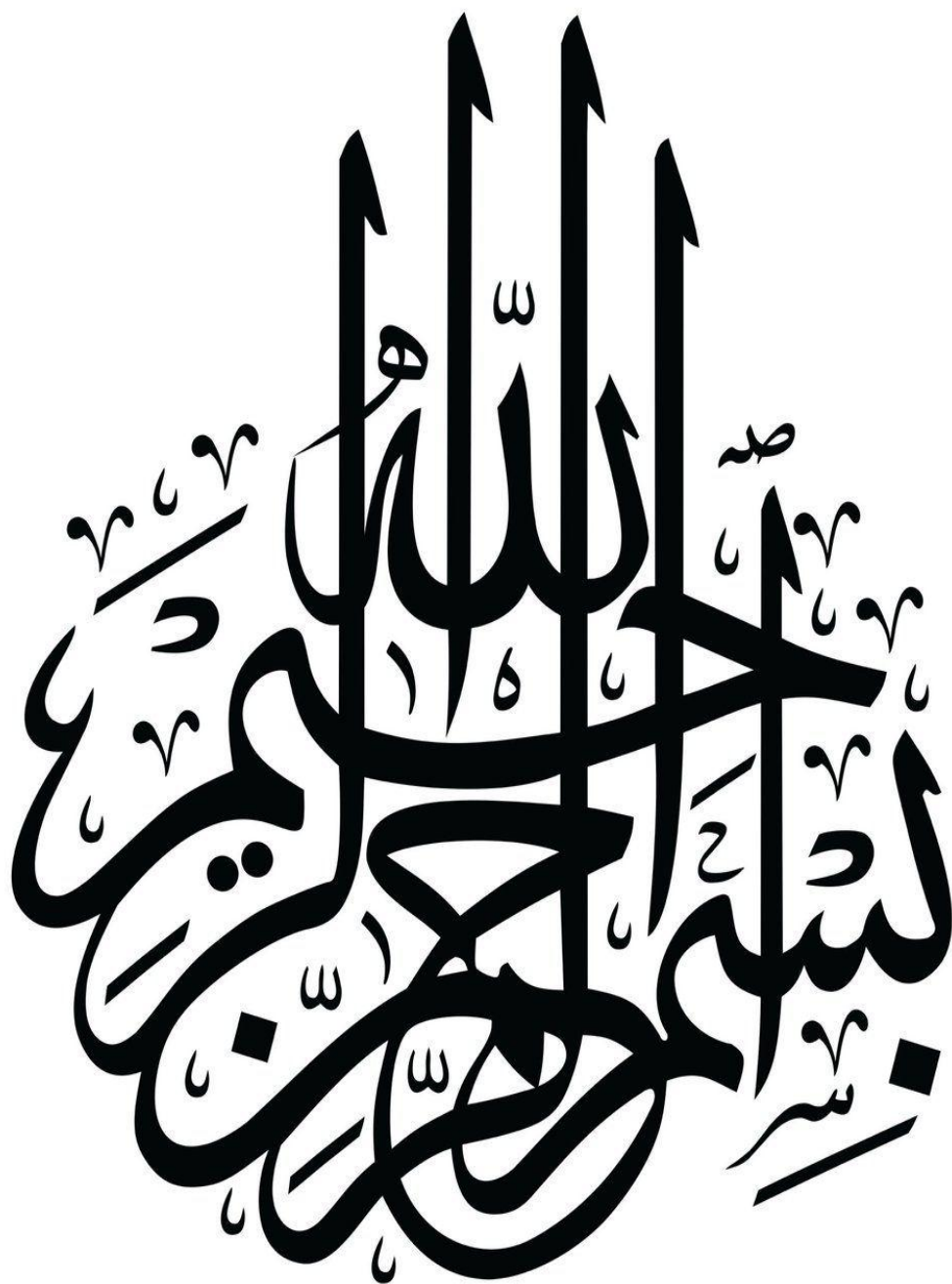
Encadreur

[14] : American Welding Society (AWS) - Site Web officiel :

www.aws.org

[15] : Article "Synthèse sur le gaz de soudage" /rodacier.com

Année universitaire : 2022 /2023



Remerciement

*Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de M'avoir
donné les Forces pour accomplir ce travail.*

*Je remercie profondément mes très chers parents qui se sont donnés
beaucoup de peine dans la vie pour ma réussite, je souhaite que Dieu les
protège et leur donne la santé et la vigueur.*

*Donc dans ce cadre nous adressons nos remerciements :
A mon encadreur, pour ses remarques et conseils qu'ils nous ont aidé
énormément.*

*Je remercie du fond du cœur, tous les enseignants au sein de génie
mécanique qui ont contribué à mon département.*

Membres de jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail
A Mon Père qui m'a toujours guidé et soutenu
A Ma Mère qui a été toujours à mes côtés
A Tous La Famille
A tous Mes amis Sans exception
A tous mes amis de Faculté de Technologie*

ملخص

خلال هذا العمل، قمنا بدراسة العوامل المختلفة التي تؤثر على اختيار نوع حواف اللحام. وتشمل هذه العوامل سمك الجزء، ونوع عملية اللحام، وإعداد الأسطح المراد لحامها، والمواد المستخدمة، وتقنيات اللحام المستخدمة. الهدف من هذه الدراسة هو فهم أفضل لكيفية تأثير هذه العناصر على عملية اختيار حافة اللحام. ومن خلال دراسة هذه العوامل، نسعى إلى تحسين عمليات اللحام، وللقيام بذلك قمنا بتصميم تطبيق بسيط يساعدنا على تصنيف حواف اللحام وفقاً لعوامل مختلفة لضمان لحام متين.

الكلمات المفتاحية : اللحام، حواف اللحام، الشطب، التطبيق

Résumé

Au cours de ce travail, nous avons étudié des différents paramètres qui impactent le choix de type de bords des pièces à souder. Ces facteurs comprennent l'épaisseur de pièce, le type de procédé de soudage, la préparation des surfaces à souder, les matériaux utilisés, les techniques de soudage employées. L'objectif de cette étude est de mieux comprendre comment ces éléments influent sur le processus de choix de bord de soudage. En examinant ces facteurs, on cherche à optimiser les procédés de soudage, et pour ce faire Nous avons conçu un outil simple qui nous aide à classer les bords de soudure selon différents facteurs pour garantir une soudure durable.

Mots clés : soudage, bords de soudure, chanfrein, outil d'aide

Summary :

During this work, we studied different parameters which impact the choice of type of welding edges. These factors include the thickness of the part, the type of welding process, the preparation of the surfaces to be welded, the materials used, the welding techniques used. The objective of this study is to better understand how these elements influence the welding edge selection process. By examining these factors, we seek to optimize welding processes, and to do this we have designed a simple application that helps us classify weld edges according to different factors to ensure a durable weld.

Key Words : welding, welding edges, help tool

Sommaire :

Chapitre I : Généralités sur le soudage

I. GENERALITES SUR LE SOUDAGE :

I.1-Introduction	3
I.2-Définition du soudage	3
I.3-Histoire de soudage.....	4
I.4-Procédés de soudage	5
I.4-1- Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW).....	5
I.4-2- Soudage MIG/ MAG.....	6
I.4-3- Soudage MAG fil fourré (FCAW)	8
I.4-4- Soudage TIG (GTAW)	9
I.4-5- Autres procédés de soudage	10

II. Les défauts de soudage

II.1- Défauts de soufflures ou cavités.....	19
II.2- Défauts de fissures.....	20
II.3- Défauts d'inclusion.....	21
II.4- Défauts de manque de fusion (collage)	22
II.5- Défaut de pénétration.....	22
II.5-1- Causes des défauts d'excès de pénétration.....	22
II.5-2- Causes des défauts de manque de pénétration.....	22

III. Contrôle des joints soudés

III.1- Introduction	26
III.2- Inspection visuelle.....	26
III.3- Contrôle par ressuage.....	28
III.4- Contrôle par radiographie.....	29
III.5- Contrôle par ultrasons.....	31
III.6- Contrôle par magnétoscopie.....	31
III.7- Conclusion de chapitre.....	31

Chapitre II : Préparations des bords et les aciers de soudage

I. Préparation des bords et des surfaces avant soudage.....	33
II.Chenfreinage.....	34
II.1- Chanfrein en V simple.....	34
II.2- Chanfrein en X.....	34
II.3- Chanfrein en J.....	35
III. Généralités sur la protection des joints de soudure	36
IV. Classification des gaz.....	37
V. Couleur d'ogives des bouteilles de gaz de soudage.....	40
VI. Les différentes familles d'aciers en soudage.....	41
VII. Rôles des principaux éléments d'addition dans les aciers	43
VII.1- Eléments alphas.....	43
VII.2- Eléments gamma.....	43

Chapitre III : Choix de chanfrein et interfaces d'outil "WeldingEdgeGuide"

Introduction.....	45
I. JAVA script.....	46
I.1- React JS.....	47
I.2- Electron JS.....	48
I.3- La différence entre React JS et Electron JS.....	48
II. Etapes de création de l'outil	49
III. Choix du chanfrein.....	54
III.1- En fonction d'épaisseur de pièce.....	54
III.2- En fonction de type de procédé de soudage.....	58
IV. Interfaces de l'outil "WeldingEdgeGuide".....	61
Conclusion de chapitre.....	66

Conclusion générale

Liste de figure :

Chapitre I

Fig I.1 Pont de Manhattan.....	4
Fig I.2 Soudage à l'arc.....	6
Fig I.3 Schéma de soudage MIG/MAG.....	7
Fig I.4 Fil fourré MIG 0.8MM 0.5kg fil de soudage.....	9
Fig I.5 Schéma de soudage TIG	10
Fig I.6 soudage TIG.....	11
Fig I.7 illustration des phénomènes électriques dans le procédé de soudage par points	12
Fig I.8 soudage par point	13
Fig I.9 Schéma de procédé soudage oxygaz	15
Fig I.10 Soudage TIG	15
Fig I.11 Soudage par friction-malaxage (FSW)	15
Fig I.12 Soudage par laser	17
Fig I.13 Le soudage par ultrasons.....	18
Fig I.14 Soufflures sphéroïdales essentiellement distribuées de façon régulière dans le métal fondu.....	19
Fig I.15 Fissure sensiblement parallèle à l'axe de la soudure située dans le matériau de base	20
Fig I.16 inclusion solide constituée de tungstène	21
Fig I.17 Manque de fusion des bords	22
Fig I.18 L'un ou les deux bords de la racine ne sont pas fondus.....	23
Fig I.19 effondrement d'une soudure d'angle	24
Fig I.20 Retassure ouverte de cratère avec un trou réduisant la section transversale de la soudure	24
Fig I.21 Inspection visuelle.....	27
Fig I.22 contrôle par ressuage	29
Fig I.23 Produits pénétrants	29
Fig I.24 Contrôle radiographique des joints soudés de la tuyauterie d'alimentation en gaz haute pression à l'intérieur de la tranchée.....	30

Chapitre II

Fig II.1 Chanfrein en V simple.....	34
Fig II.2 Chanfrein en X.....	34
Fig II.3 Chanfrein en J.....	35
Fig II.4 les effets des gaz de protection sur le dépôt de métal d'apport	39
Fig II.5 l'apparence du cordon, sur l'acier.....	39

Fig II.6 Les quatre couleurs d'ogives de la bouteille de gaz de soudage	40
Fig II.7 Les couleurs d'ogives qui ne changent pas	40

Chapitre III

Fig III.1 JAVA Script logo.....	46
Fig III.2 React JS logo.....	47
Fig III.3 ELECTRON JS logo	48
Fig III.4 Bord droit	54
Fig III.4 Interface de Démarrer un projet REACT	49
Fig III.5 Interface Mettre en place TypeScript dans notre projet REACT.....	49
Fig III.6 Interface Installation des dépendances de notre application.....	50
Fig III.7 Interface Création des composants REACT	50
Fig III.8 Interface Création d'un point d'entrée pour notre outil	51
Fig III.9 Interface Ajouter le fichier racine de notre application.....	51
Fig III.10 Interface Création de menu sidebar.....	52
Fig III.11 Interface Création de données de la sidebar.....	52
Fig III.12 Interface Ajout de styles CSS.....	53
Fig III.13 Interface Optimisation et améliorations.....	53
Fig III.14 Chanfrein en V	54
Fig III.15 Chanfrein en X	55
Fig III.16 Chanfrein X après soudage	55
Fig III.17 Chanfrein en V doubles pentes (V composé)	56
Fig III.18 Chanfrein en J.....	57
Fig III.19 Chanfrein en J composé.....	57
Fig III.20 Soudage à l'arc.....	58
Fig III.21 CHANFREIN V.....	58
Fig III.22 CHANFREIN X.....	58
Fig III.23 Soudage TIG	59
Fig III.24 Chanfrein en V	59
Fig III.25 Chanfrein en X	59
Fig III.26 Soudage MIG/MAG.....	60
Fig III.27 Chanfrein en J.....	60
Fig III.28 Chanfrein en X	60
Fig III.29 Page principale d'outil	61
Fig III.30 Classification par épaisseur ($2\text{mm} \leq t < 5\text{mm}$)	61
Fig III.31 Classification par épaisseur ($5\text{mm} \leq t < 12\text{mm}$)	62
Fig III.32 Classification par épaisseur ($12\text{mm} \leq t < 20\text{mm}$)	62
Fig III.33 Classification par épaisseur ($t \leq 20\text{mm}$)	63
Fig III.34 Page principale d'outil	64
Fig III.35 Classification par type de soudage (Soudage à l'arc)	64
Fig III.36 Classification par type de soudage (Soudage TIG)	65
Fig III.37 Classification par type de soudage (Soudage MIG/MAG)	65
Tableau II.1 Choix de gaz en fonction de métal à souder.....	38

Liste d'abréviations :

SMAW : Shielded arc metal welding

GTAW : Gas tungesten arc welding

GMAW : Gas metal arc welding

RSW : Resistance spot welding

FCAW : Flux-cored arc welding

FSW : Friction stir welding

X : Chanfrein x

TiN : Nutrine de titane

JS : JAVA Script

DOM : Document object model

HTML : Hyper text markup language

CSS : Cascading style sheets

Introduction générale

Le soudage est l'une des techniques de fabrication les plus essentielles et omniprésentes dans l'industrie moderne. Il joue un rôle vital dans la création de structures solides, durables et fiables, que ce soit dans la construction navale, l'industrie automobile, l'aérospatiale, ou même dans la fabrication de produits de consommation courante. L'un des aspects les plus cruciaux du soudage est le choix du type de bords de pièces à souder, une décision qui influe directement sur la qualité, la robustesse et la sécurité des soudures.

La sélection du type de bords de pièces à souder ne se fait pas de manière arbitraire, mais dépend plutôt d'une multitude de facteurs complexes. Ces facteurs incluent la nature du matériau à souder, l'application spécifique, les conditions environnementales, les exigences de performance, la méthode de soudage choisie, et bien d'autres. Chacun de ces facteurs peut avoir un impact significatif sur la qualité de la soudure, sa durabilité et sa résistance aux contraintes.

En abordant ces questions, ce projet de fin d'études vise à contribuer à une meilleure compréhension de la complexité entourant le choix du type de bords de pièces à souder. Il fournira également des recommandations précieuses pour les ingénieurs et les professionnels de l'industrie, ainsi que des pistes pour de futures recherches visant à améliorer la qualité et l'efficacité du soudage dans diverses applications.

Dans les chapitres à venir, nous examinerons en détail chaque aspect de cette problématique, en utilisant des approches analytiques pour parvenir à des conclusions significatives. Ce travail contribuera ainsi à renforcer la base de connaissances dans le domaine du soudage et à soutenir l'innovation dans le secteur de la fabrication.

CHAPITRE I
Généralités sur le soudage

I- GENERALITES SUR LE SOUDAGE

I.1- Introduction

Parmi les procédés les plus employés dans le domaine des matériaux métalliques, le soudage se situe en première position. En effet, une grande partie des objets manufacturés qui nous entourent font appel à des technologies d'assemblage par ce procédé pour leur réalisation. La connaissance de ces dernières permet d'améliorer et/ou de diminuer les coûts de fabrication de ces objets.

I.2-Définition du soudage

Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler ; soit par chauffage, soit par intervention de pression, soit par l'un et l'autre, avec ou sans métal d'apport dont la température de fusion est du même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

Le soudage et les techniques connexes font partie du domaine de l'assemblage et fixation. La différence essentielle entre les joints soudés et les autres assemblages est la continuité entre les pièces. Les joints soudés sont donc non démontables.

L'opération peut être appliquée aux métaux ainsi qu'aux matières thermoplastiques (voir Soudage de plastiques) et au bois (voir Soudage du bois).

Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée par fusion à l'échelle de l'édifice atomique. Bien qu'un soudage puisse être lentement réalisé par les forces interatomiques et la diffusion entre des pièces métalliques mises entièrement en contact suivant des surfaces parfaitement compatibles et exemptes de toute pollution, en pratique le soudage fait intervenir une énergie d'activation pour réaliser rapidement la continuité recherchée, énergie thermique ou électricité pour qu'au niveau de la soudure le métal atteigne son point de fusion.

Le soudage est une opération connue depuis l'antiquité, mais sa maîtrise à une échelle industrielle ne décolle vraiment que pendant la Première Guerre mondiale, avec des améliorations notables tout au long du XX^e siècle. [5]

I.3-HISTOIRE DE SOUDAGE

Le soudage est une technique ancienne qui remonte à l'Antiquité, bien qu'elle ait évolué et se soit perfectionnée au fil du temps.

Les premières formes de soudage étaient pratiquées par les forgerons de l'Antiquité. Ils chauffaient les métaux à l'aide de feux de forge et utilisaient des techniques telles que le martelage et le rivetage pour joindre les pièces métalliques ensemble. Pendant la période de Moyen Âge, les techniques de soudage étaient principalement utilisées pour la réparation d'armes et d'armures. Les forgerons utilisaient des techniques de forgeage et de chauffage au charbon pour réaliser des soudures.

Le développement de la révolution industrielle a entraîné des avancées significatives dans les techniques de soudage. En 1800, Humphry Davy, un scientifique britannique, a inventé l'arc électrique, qui permettait de créer une source de chaleur intense pour le soudage. Cependant, cette méthode était principalement utilisée pour la découpe des métaux à l'époque.

De nos jours, le soudage est utilisé dans de nombreux domaines, de la construction navale et de la construction de ponts **Fig. I.1** à la fabrication de machines et d'équipements. Les techniques de soudage se sont améliorées, avec l'introduction de machines à souder automatisées et de robots de soudage, ce qui permet d'obtenir des soudures précises et de haute qualité. Le soudage reste une compétence importante et recherchée dans de nombreux métiers, et les professionnels



Fig I.1 Pont de Manhattan

I.4-Procédés de soudage

La soudure désigne l'assemblage permanent de matières, généralement de métaux. Elle permet d'assurer la continuité de la nature des matériaux assemblés.

Il existe en soudure plusieurs procédés distincts, qui s'appliquent à différentes tâches et environnements de travail. Les 4 procédés principaux sont la soudure à l'électrode enrobée dite soudure à l'arc (ou MMA), la soudure MIG/MAG, la soudure TIG ainsi que la soudure Flamme.

I.4-1.Soudage à l'arc

1. a-Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée (Shielded Metal Arc Welding, SMAW), également connu sous le nom de soudage à l'arc manuel (Manual Metal Arc Welding, MMA), est un procédé de soudage largement utilisé dans l'industrie. Voici quelques informations importantes sur le SMAW : [8]

- **Fonctionnement :**

Le SMAW utilise une électrode métallique recouverte d'un enrobage composé de matériaux chimiques spécifiques. Lorsque l'électrode est amenée en contact avec la pièce à souder, une décharge électrique est créée, générant un arc électrique. Cet arc produit une chaleur intense qui fait fondre l'électrode ainsi que le matériau de base, créant ainsi une soudure. Voir **Fig I.2**

- **Électrode enrobée :**

L'électrode utilisée dans le SMAW est composée d'un cœur métallique conducteur et d'un enrobage protecteur. L'enrobage a plusieurs fonctions, telles que la création d'un gaz protecteur pour empêcher la contamination de la soudure, la stabilisation de l'arc électrique et la formation d'un laitier qui protège le métal en fusion de l'oxydation.

- **Application :**

Le SMAW est utilisé dans diverses industries pour souder des métaux tels que l'acier, l'acier inoxydable, l'aluminium, le cuivre, etc. Il est couramment utilisé dans la construction navale, la construction métallique, la fabrication de tuyaux, la réparation automobile et d'autres applications nécessitant une soudure robuste et durable.

- **Avantages du SMAW :**

Le SMAW présente plusieurs avantages, notamment sa polyvalence, sa portabilité et sa capacité à souder dans des conditions difficiles, telles que des environnements extérieurs exposés au vent ou à la pluie. Il peut également être utilisé pour souder des matériaux de différentes épaisseurs et il nécessite un équipement relativement simple.

- **Limitations du SMAW :**

Bien que le SMAW soit un procédé de soudage largement utilisé, il présente certaines limitations. Il a un taux de dépôt relativement faible par rapport à d'autres procédés de soudage, ce qui signifie qu'il peut prendre plus de temps pour souder de grandes structures. De plus, la présence du laitier nécessite un nettoyage supplémentaire après la soudure.

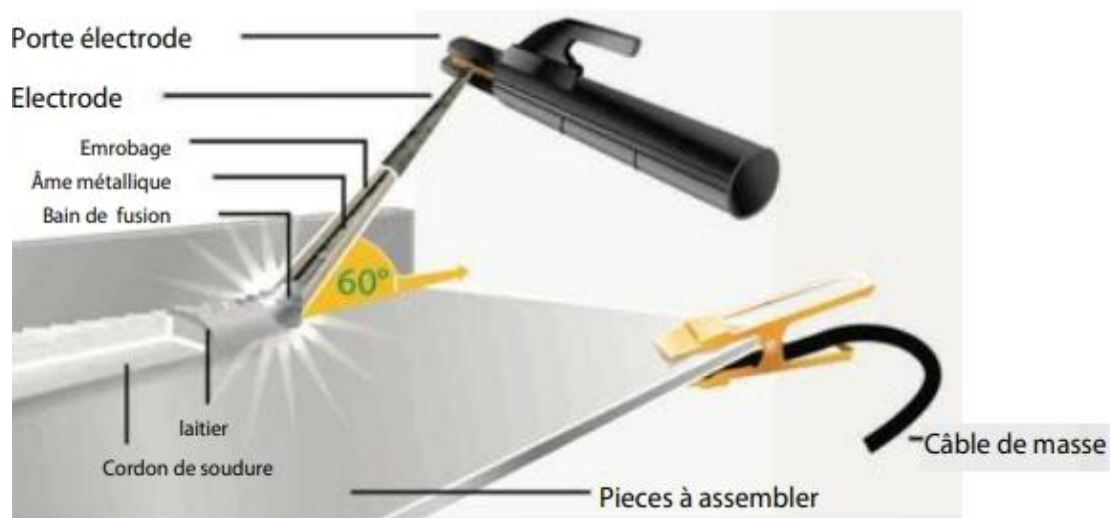


Fig I.2 Soudage à l'arc [9]

1. b-Soudage MIG/ MAG

Le soudage MIG (Metal Inert Gas) et MAG (Metal Active Gas) sont des procédés de soudage à l'arc utilisés pour joindre des métaux. Ils sont très similaires et diffèrent principalement par le type de gaz de protection utilisé.

Le soudage MIG/MAG implique l'utilisation d'un pistolet de soudage qui alimente un fil-électrode continu et fondu à travers une buse de contact. L'arc électrique est établi entre l'électrode et la pièce à souder, ce qui fait fondre l'électrode et forme le joint de soudure. [10]

Dans le cas du soudage MIG, le gaz de protection utilisé est généralement de l'argon ou un mélange d'argon et d'hélium. Ces gaz inertes sont utilisés pour protéger le bain de fusion et la zone du soudage contre l'oxydation et d'autres

contaminants atmosphériques. Le soudage MIG est principalement utilisé pour les métaux non ferreux tels que l'aluminium et le cuivre, ainsi que pour certains aciers inoxydables.

En revanche, le soudage MAG utilise un gaz de protection actif, tel que le dioxyde de carbone (CO_2) ou un mélange de CO_2 et d'argon. Le gaz actif facilite le transfert du métal fondu et aide à stabiliser l'arc électrique. Le soudage MAG est couramment utilisé pour les aciers au carbone, les aciers à faible teneur en alliage et certains aciers inoxydables.

Les avantages du soudage MIG/MAG incluent une vitesse de soudage élevée, une grande productivité, la possibilité de souder dans différentes positions et la facilité d'utilisation. Cependant, il peut nécessiter un équipement plus coûteux et une préparation plus poussée de la zone de soudure par rapport à d'autres procédés de soudage. Voir **Fig I.3**

Il est important de noter que les recommandations spécifiques pour le soudage MIG/MAG peuvent varier en fonction du matériau à souder, de l'épaisseur de la pièce et des paramètres de soudage. Il est donc essentiel de se référer aux normes et aux bonnes pratiques de soudage appropriées, ainsi que de suivre les consignes du fabricant de l'équipement de soudage. [11]

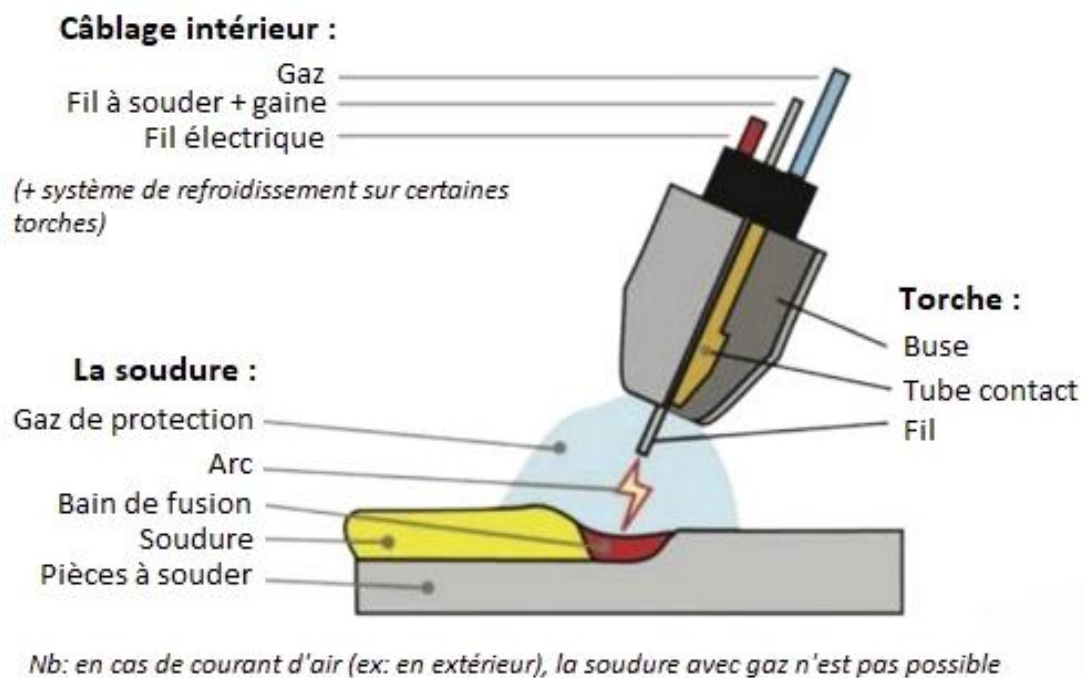


Fig I.3 Schéma de soudage MIG/MAG [9]

1. c-Soudage MAG fil fourré (FCAW)

Le soudage MAG (Metal Active Gas) avec fil fourré (FCAW - Flux-Cored Arc Welding) **Fig I.4** est un procédé de soudage utilisé pour joindre des métaux. Dans ce procédé, un arc électrique est généré entre l'électrode de soudage et la pièce à souder, créant ainsi une chaleur intense qui fait fondre les extrémités de l'électrode et de la pièce à souder.

Le fil fourré utilisé dans le soudage MAG FCAW est un fil métallique rempli d'un flux qui se trouve à l'intérieur. Le flux se compose d'agents désoxydants, de stabilisateurs de l'arc électrique, de décapants et d'autres matériaux qui aident à produire une soudure de qualité. Le flux crée également un gaz de protection lorsqu'il se décompose, formant ainsi un bouclier gazeux autour de l'arc et de la zone de soudure. Ce gaz protège le bain de fusion contre l'oxydation et prévient la formation de défauts dans la soudure.

Le soudage MAG FCAW est couramment utilisé dans l'industrie de la construction, de la fabrication et de la réparation, en particulier lorsque des soudures de grande longueur doivent être réalisées rapidement. Il présente plusieurs avantages par rapport à d'autres procédés de soudage, notamment :

1. Haute productivité : le soudage MAG FCAW permet de souder rapidement de grandes longueurs de joint, ce qui en fait un choix efficace pour les applications nécessitant une haute productivité.

2. Polyvalence : ce procédé convient à une large gamme de métaux, y compris les aciers au carbone, les aciers inoxydables et les alliages d'aluminium.

3. Dépôt de métal élevé : le fil fourré utilisé dans le soudage MAG FCAW permet de déposer une quantité élevée de métal de soudure, ce qui est bénéfique pour les applications nécessitant des soudures épaisses ou de remplissage.

4. Facilité d'utilisation : le soudage MAG FCAW est relativement facile à apprendre et à mettre en œuvre, ce qui en fait un choix populaire parmi les soudeurs débutants et expérimentés.

Lorsque vous pratiquez le soudage MAG FCAW, il est important de suivre les bonnes pratiques de sécurité et d'utiliser l'équipement de protection individuelle approprié, tels que les lunettes de soudeur, le casque de protection et les gants résistants à la chaleur.



Fig I.4 Fil fourré MIG 0.8MM 0.5kg fil de soudage

1. d-Soudage TIG (GTAW)

Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) (**Fig I.5**) est un procédé de soudage à l'arc qui utilise une électrode en tungstène non consommable pour créer l'arc électrique. Le soudage TIG est largement utilisé dans de nombreux secteurs industriels, notamment l'aérospatiale, l'automobile, la fabrication de machines, la construction navale et la fabrication de produits métalliques.

Voici comment fonctionne le procédé de soudage TIG :

1. Configuration de l'équipement : Pour effectuer un soudage TIG, vous avez besoin d'une source de courant CC (courant continu) ou CA (courant alternatif) avec une commande de sortie constante. Vous aurez également besoin d'un poste de soudage TIG, d'une torche de soudage TIG, d'une bouteille de gaz inerte (généralement de l'argon) et d'un régulateur de pression pour contrôler le débit de gaz.

2. Préparation des pièces : Avant de souder, vous devez préparer les pièces à souder en les nettoyant soigneusement pour éliminer la saleté, la rouille, les revêtements ou les contaminants. Cela garantit une soudure de haute qualité.

3. Configuration de la torche : La torche de soudage TIG est équipée d'une électrode en tungstène et d'un gaz de protection inerte. L'électrode en tungstène est maintenue dans la torche et ne se consumera pas pendant le processus de soudage.

4. Allumage de l'arc : Une fois que la torche est prête, vous pouvez allumer l'arc électrique en rapprochant doucement l'électrode de la pièce à souder. Cela crée l'arc électrique qui fond les bords des pièces.

5. Ajout de métal d'apport : Si nécessaire, vous pouvez ajouter du métal d'apport à la jonction des pièces pour renforcer la soudure. Le métal d'apport est alimenté manuellement dans la zone de soudure à partir d'une baguette de soudure.

6. Contrôle du processus : Pendant le soudage, vous devez contrôler la vitesse de déplacement de la torche, la distance entre l'électrode et la pièce, l'angle d'inclinaison de la torche et le débit de gaz de protection. Ces paramètres peuvent être ajustés en fonction du type de matériau, de l'épaisseur et des spécifications de soudage.

7. Finition : Une fois la soudure terminée, laissez-la refroidir naturellement. Vous pouvez ensuite procéder à des opérations de finition supplémentaires, telles que le meulage, le polissage ou le nettoyage, pour obtenir une apparence finale soignée.

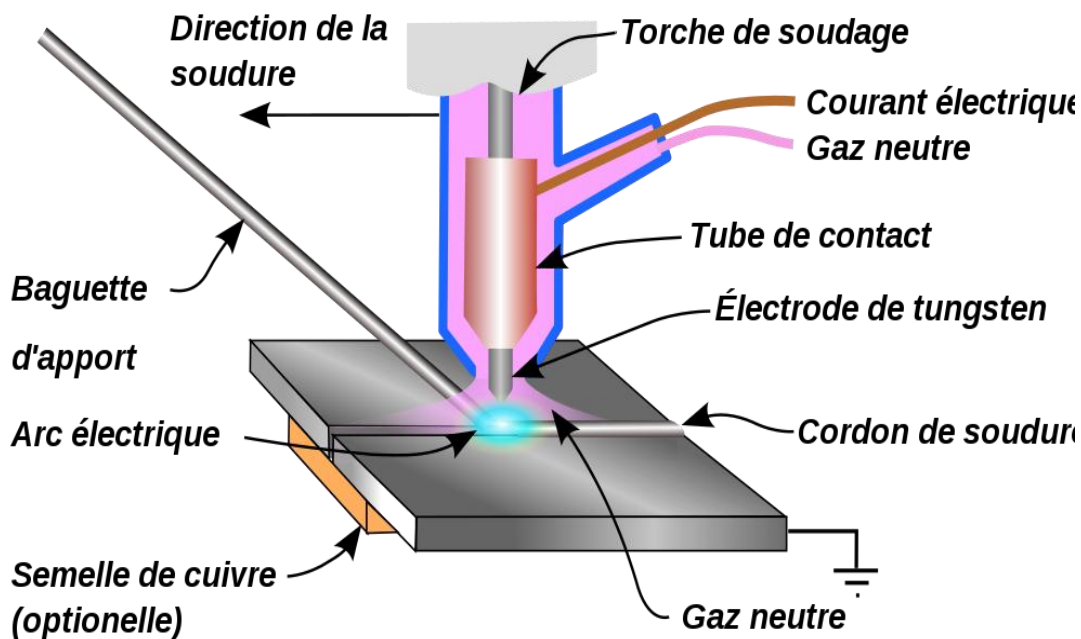


Fig I.5 Schéma de soudage TIG

Le soudage TIG est apprécié pour sa précision, sa propreté et sa polyvalence. Il permet de souder une grande variété de métaux, y compris l'acier, l'aluminium, le cuivre, le laiton, l'acier inoxydable, le titane et leurs alliages. Il produit des soudures de haute qualité avec une faible porosité et une bonne résistance mécanique. Cependant, le soudage TIG est un processus relativement lent et nécessite une certaine expertise et habileté de la part de l'opérateur. (**Fig I.6**)



Fig I.6 soudage TIG

1. e- Soudage par point (RSW)

Le soudage par point, également connu sous le nom de résistance par soudage (RSW pour Resistance Spot Welding en anglais), est une méthode courante de soudage utilisée pour joindre des pièces métalliques minces. Il est largement utilisé dans l'industrie automobile pour assembler les carrosseries des véhicules.

Le processus de soudage par point implique l'application d'un courant électrique intense à travers deux pièces de métal placées l'une contre l'autre. La résistance du matériau à la chaleur génère de la chaleur localement, ce qui provoque la fusion des surfaces de contact. En même temps, une pression est appliquée pour maintenir les pièces ensemble pendant la fusion. Une fois que les pièces sont suffisamment chauffées, le courant est interrompu et la zone fondue se solidifie, formant ainsi une soudure solide. Voir (Fig I.7)

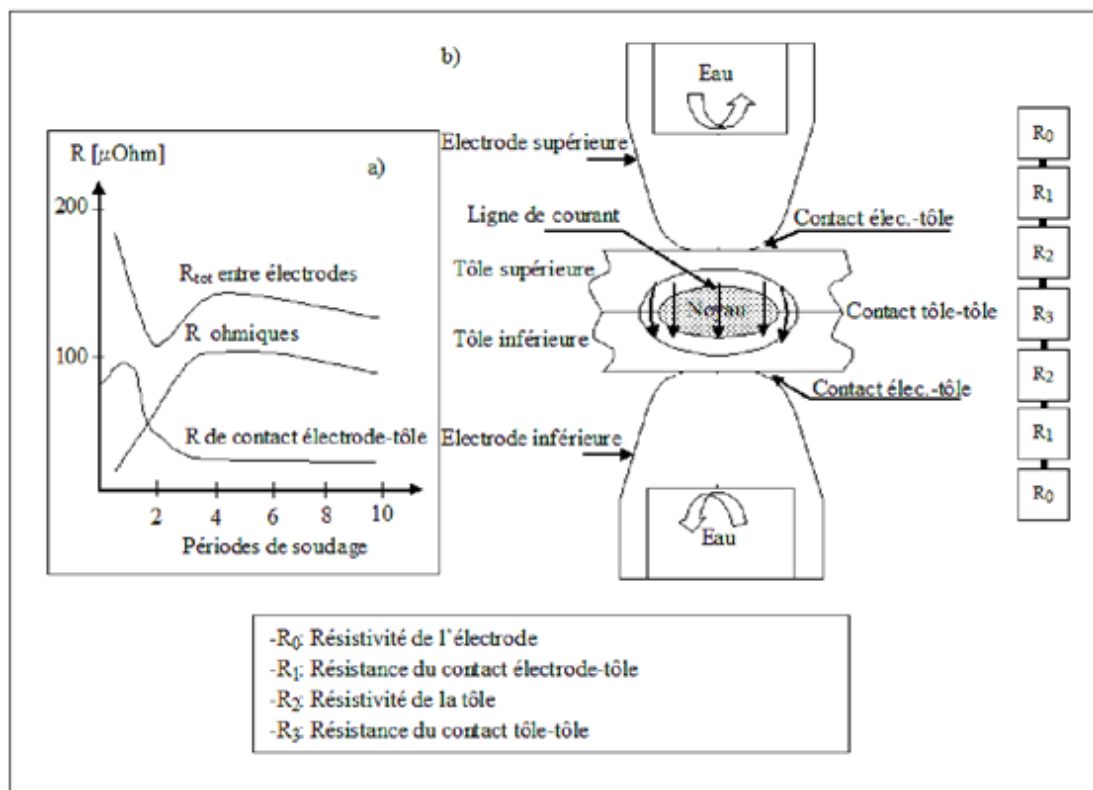


Fig I.7 illustration des phénomènes électriques dans le procédé de soudage par points

Le soudage par point est rapide et efficace, ce qui en fait une méthode d'assemblage populaire dans les applications de production en série. Il est particulièrement adapté aux matériaux conducteurs tels que l'acier doux et l'acier inoxydable. Cependant, il peut être moins approprié pour les matériaux plus épais ou les métaux non conducteurs. Voir **Fig I.8**

La qualité d'une soudure par point dépend de plusieurs facteurs, notamment la puissance du courant, la durée de l'impulsion électrique, la pression appliquée et les caractéristiques des matériaux utilisés. Un contrôle précis de ces paramètres est nécessaire pour obtenir des soudures fiables et solides.

Il convient de noter qu'il existe d'autres variantes de soudage par résistance, telles que le soudage par projection par points et le soudage par bossages, qui sont utilisées dans des applications spécifiques pour des joints spécifiques.



Fig I.8 soudage par point

1. f-Soudage oxygaz [4]

Le soudage oxygaz, également connu sous le nom de soudage à la flamme ou soudage à l'oxyacétylène, est un processus de soudage qui utilise une flamme générée par la combustion d'un mélange d'oxygène et de gaz combustible, tel que l'acétylène, le propane ou le butane. Voir **Fig I.9**

Les étapes générales du processus de soudage oxygaz :

1. Préparation des pièces : Les pièces à souder doivent être préparées en le nettoyant pour éliminer les contaminants tels que la rouille, la saleté ou les résidus d'huile.

2. Assemblage des pièces : Les pièces à souder sont assemblées dans la position appropriée à l'aide de fixations temporaires, telles que des pinces ou des aimants, pour maintenir l'alignement.

3. Réglage des équipements : Les équipements de soudage oxygaz comprennent un chalumeau, des bouteilles de gaz, des régulateurs de pression et des tuyaux. Les réglages appropriés pour le débit de gaz et la pression sont effectués en fonction des spécifications du matériau à souder.

4. Allumage de la flamme : La flamme est allumée en ouvrant les vannes d'oxygène et de gaz combustible, puis en utilisant un dispositif d'allumage, comme une pierre à briquet ou un démarreur de flamme.

5. Préchauffage : Avant de commencer le soudage, les pièces à souder sont chauffées à une température appropriée à l'aide de la flamme pour réduire les contraintes thermiques et favoriser une fusion uniforme.

6. Apport de métal d'apport : Si nécessaire, du métal d'apport peut être utilisé pour renforcer le joint de soudure. Le métal d'apport est chauffé dans la flamme et déposé dans la zone de soudure en fusion.

7. Soudage : Une fois que les pièces sont préchauffées et le métal d'apport est prêt, le soudeur utilise le chalumeau pour focaliser la flamme sur la zone de soudure. La chaleur de la flamme fait fondre les bords des pièces à souder et le métal d'apport, créant ainsi une fusion.

8. Refroidissement et nettoyage : Une fois la soudure terminée, la zone soudée est laissée à refroidir lentement. Après refroidissement, les résidus de flux ou de métal d'apport sont généralement retirés à l'aide de brosses ou d'autres outils appropriés.

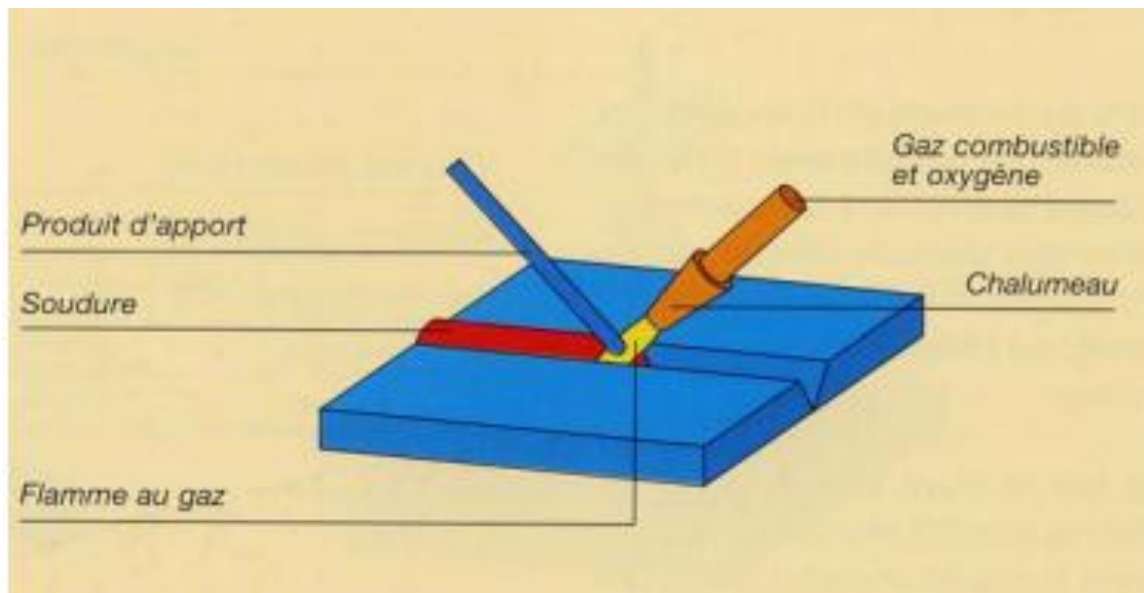


Fig I.9 Schéma de procédé soudage oxygaz

Le soudage oxygaz est couramment utilisé pour souder des matériaux tels que l'acier, l'acier inoxydable, le cuivre, le laiton et le bronze. Cependant, il a des limitations par rapport à d'autres techniques de soudage, notamment en termes de vitesse, de profondeur de pénétration et de capacité à souder des matériaux plus épais. Des méthodes de soudage plus avancées, telles que le soudage à l'arc électrique, sont souvent préférées dans les applications industrielles.



Fig I.10 Soudage TIG

4. Autre procédés

4.1- Soudage par friction-malaxage (FSW)

Le soudage par friction-malaxage (FSW, pour Friction Stir Welding en anglais) est un procédé de soudage solide à l'état solide utilisé pour joindre des matériaux métalliques, notamment les alliages d'aluminium. Il a été développé dans les années 1990 par The Welding Institute (TWI), au Royaume-Uni. Voir **Fig I.11**

Le FSW est un procédé de soudage relativement récent qui présente plusieurs avantages par rapport aux méthodes traditionnelles de soudage, telles que le soudage par fusion. Au lieu de fondre les matériaux pour les souder, le FSW utilise un outil en forme de tige, appelé "épaulement", qui est inséré entre les deux pièces à souder. L'outil est ensuite mis en rotation et déplacé le long de la jointure, générant ainsi de la chaleur et de la friction.



Fig I.11 Soudage par friction-malaxage (FSW)

4.2-Soudage par laser

Le soudage par laser est un processus de soudage utilisant un faisceau laser hautement concentré pour fondre et fusionner les pièces à souder. Il est largement utilisé dans l'industrie pour réaliser des soudures précises et de haute qualité sur une variété de matériaux.

Le processus de soudage par laser implique l'utilisation d'un laser à haute énergie qui génère un faisceau de lumière cohérente. Ce faisceau est dirigé vers la zone de soudure, où il est concentré sur une petite zone pour atteindre une puissance suffisante pour faire fondre les pièces à souder. Voir **Fig I.12**

Il existe deux types principaux de soudage par laser :

1. Soudage par laser à l'air libre : Dans ce processus, le faisceau laser est directement exposé à l'air pendant le soudage. Cela permet une grande flexibilité et est utilisé pour les applications où l'accès à la zone de soudure est facile.

2. Soudage par laser en atmosphère contrôlée : Ce processus se déroule dans une chambre d'atmosphère contrôlée, généralement remplie d'un gaz protecteur tel que l'argon ou l'hélium. Cela permet de protéger la zone de soudure de l'oxydation et d'obtenir des soudures plus propres et plus esthétiques.



Fig I.12 Soudage par laser

4.3-Soudage par ultrasons

Le soudage par ultrasons est un procédé de soudage utilisant des vibrations ultrasoniques pour assembler deux pièces en les chauffant localement et en le pressant ensemble. Il est largement utilisé dans l'industrie pour souder des matériaux thermoplastiques tels que le plastique et les composites. Voir **Fig I.13**

Le processus de soudage par ultrasons implique généralement les étapes suivantes :

1. Les deux pièces à souder sont placées l'une contre l'autre, formant ainsi une jointure.
2. Une sonotrode, également appelée « corne », est appliquée sur la zone de jointure.
3. La sonotrode émet des vibrations ultrasoniques à haute fréquence (typiquement entre 20 et 40 kHz). Ces vibrations sont transmises aux pièces à souder.
4. Les vibrations ultrasoniques génèrent de la chaleur par friction entre les surfaces des pièces, ce qui provoque une fusion partielle des matériaux thermoplastiques.
5. La pression exercée par la sonotrode maintient les pièces en contact étroit pendant le processus de fusion.
6. Une fois que la fusion est réalisée et que les matériaux se solidifient, les vibrations et la pression sont arrêtées, et la jointure refroidit et se solidifie complètement.



Fig I.13 Le soudage par ultrasons

II. Les défauts de soudage [7]

1) Défauts de soufflures ou cavités

Les soufflures sont des défauts fréquents en soudage. Ce sont souvent des bulles de gaz enfermées dans le cordon de soudure. Les piqures sont des soufflures débouchâtes, donc visibles en surface (Fig I.14)

Types de soufflures fréquentes :

- Nid de soufflures
- Soufflures vermiculaires
- Piqures

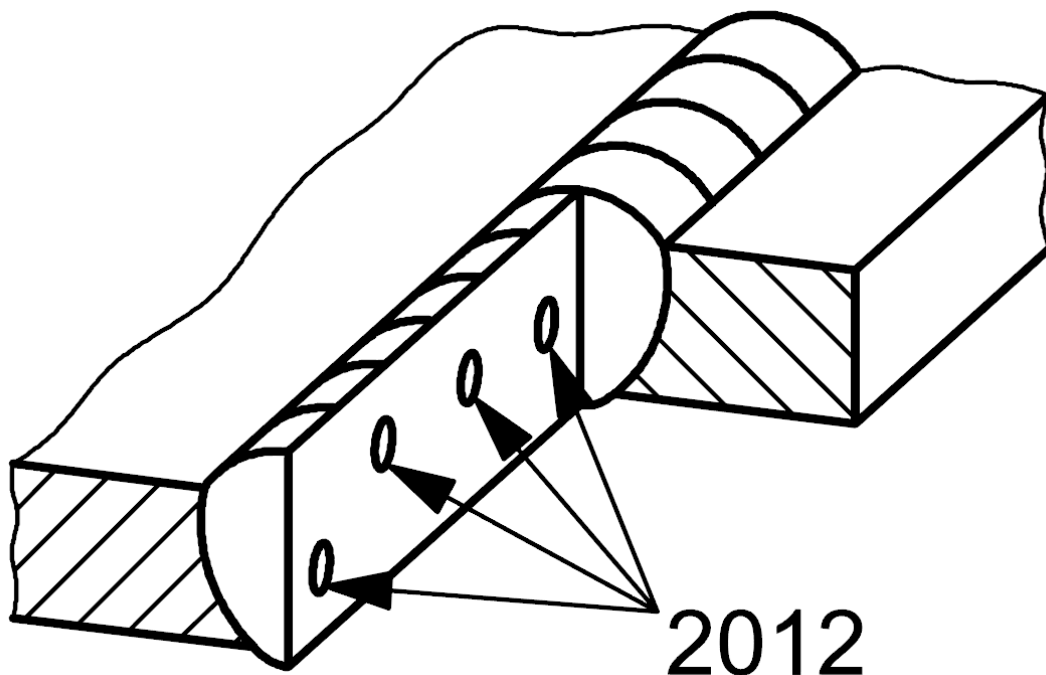


Fig I.14 Soufflures sphéroïdales essentiellement distribuées de façon régulière dans le métal fondu

1-1) Causes des soufflures :

Les soufflures peuvent être dues :

- ➔ à des courants d'air
- ➔ un manque de gaz de protection
- ➔ un débit de ce gaz trop faible
- ➔ la présence de graisse ou d'huile sur le métal de base ou le métal d'apport.
- ➔ une buse encrassée
- ➔ un mauvais angle de soudage qui entraîne une mauvaise protection gazeuse
- ➔ des impuretés dans le joint à souder.

1-2) Remèdes contre le défaut de soufflures:

Pour limiter le risque de soufflures :

- ➔ s'assurer que la surface du métal de base et d'apport est propre et non gras.

2) Défauts de fissures

Les fissures sont des ruptures du matériau. Elles sont orientées selon le type de défaut. Ces fissures peuvent se trouver aussi bien dans le métal de base que dans le cordon de soudure, dans la zone affectée thermiquement ou la zone de liaison.

Types de fissures fréquentes :

- ➔ Fissure longitudinale
- ➔ Fissure transversale
- ➔ Fissure de cratère
- ➔ Fissure sous cordon débouchant
- ➔ Fissure sous cordon non débouchant

2-1) Causes des fissures :

Les fissures peuvent être dues :

- ➔ à des contraintes excessives pendant le soudage (énergie trop élevée, refroidissement trop rapide, métal d'apport non adapté...)
- ➔ volume de cordon trop faible (préparation des bords trop étroite...)
- ➔ arrêt trop brutal de la soudure
- ➔ arrêt prématuré de la protection gazeuse en TIG.

2-2) Remèdes contre les fissures

Pour éviter les fissures :

- ➔ Choisir un métal d'apport approprié
- ➔ Adopter un préchauffage approprié
- ➔ Effectuer une bonne préparation des joints

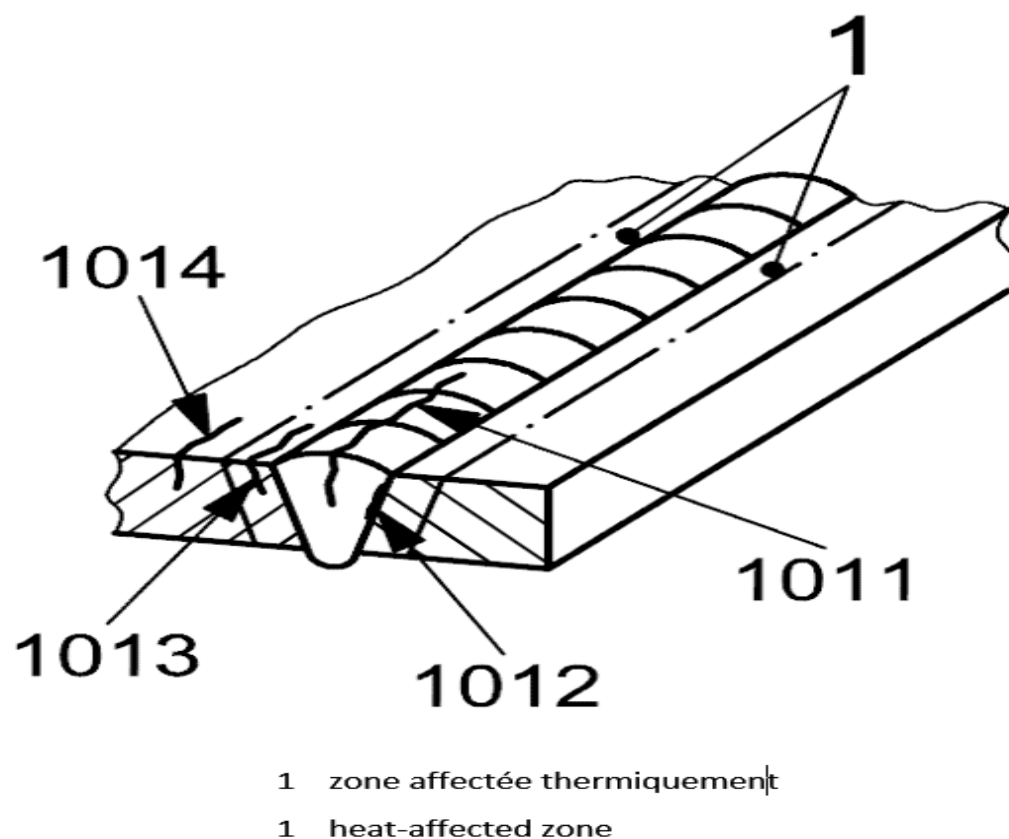


Fig I.15 Fissure sensiblement parallèle à l'axe de la soudure située dans le matériau de base

3) Défaut d'inclusions

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon. Voir Fig I.16

Types d'inclusions fréquentes :

- ➔ Inclusion solide : corps étranger inclus dans le cordon de soudure.
- ➔ Inclusion de laitier : morceau de laitier inclus dans le cordon de soudure.
- ➔ Inclusion de flux : morceau de flux inclus dans le cordon de soudure.
- ➔ Inclusion d'oxyde : oxyde métallique emprisonné dans la soudure.
- ➔ Inclusion métallique : particule métallique de composition différente au cordon emprisonnée (souvent ** tungstène en TIG **)

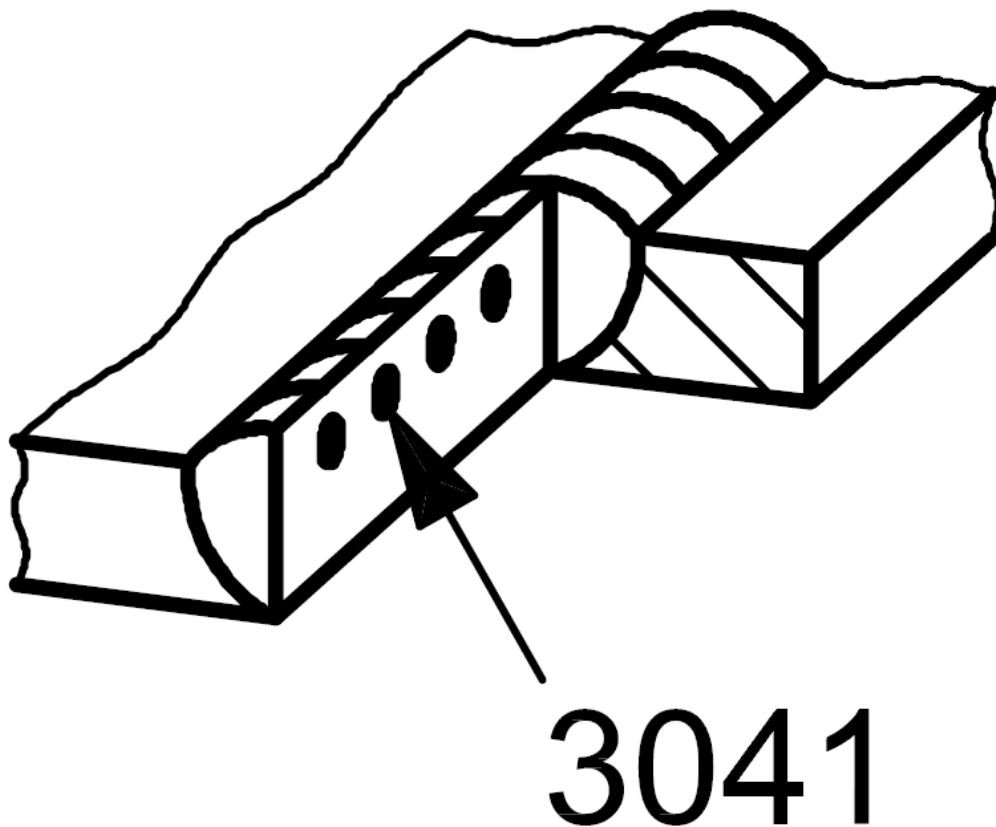


Fig I.16 inclusion solide constituée de tungstène

4) Défaut de manque de fusion (collage)

Concernant le manque de fusion, il s'agit d'une mauvaise continuité métallurgique entre les métaux à assembler. Il peut aussi s'agir de manque de fusion des passes les unes avec les autres.

Types de manque de fusion :

- ➔ Manque de fusion des bords à souder
- ➔ Manque de fusion entre les passes.
- ➔ Manque de fusion à la racine.

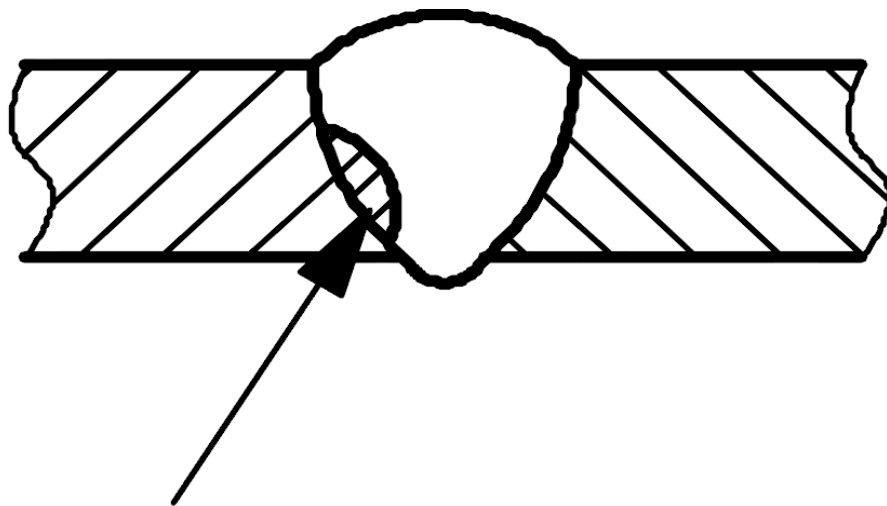
4-1) Causes des défauts de collage :

Ces défauts sont fréquents en soudage MAG et surviennent généralement quand :

- ➔ Angle du chanfrein trop étroit
- ➔ Mauvaise orientation des électrodes
- ➔ Intensité trop faible

4-2) Remèdes :

- ➔ Mettre en œuvre un DMOS adapté



4011

Fig I.17 Manque de fusion des bords

5) Défaut de pénétration

Les défauts de pénétration peuvent être des manques ou des excès de pénétration. L'excès de pénétration est un surplus de métal à la racine de la soudure ou un excès dans la passe précédente.

5-1) Causes des défauts d'excès de pénétration :

- ➔ Jeu de soudage trop grand
- ➔ Vitesse d'avance trop lente
- ➔ Intensité trop élevée
- ➔ Distance électrode/pièce trop courte

5-2) Remèdes :

- ➔ Réduire le jeu de soudage
- ➔ Souder plus vite
- ➔ Réduire l'intensité
- ➔ Rapprocher la torche de la pièce pendant le soudage

5-3) Causes des défauts de manque de pénétration :

- ➔ Jeu de soudage trop petit (pièces trop rapprochées)
- ➔ Vitesse d'avance trop élevée
- ➔ Intensité trop faible
- ➔ Métal de base trop froid

5-4) Remèdes :

- ➔ Agrandir l'écart des pièces à souder
- ➔ Souder plus doucement
- ➔ Augmenter l'intensité
- ➔ Préchauffer les pièces

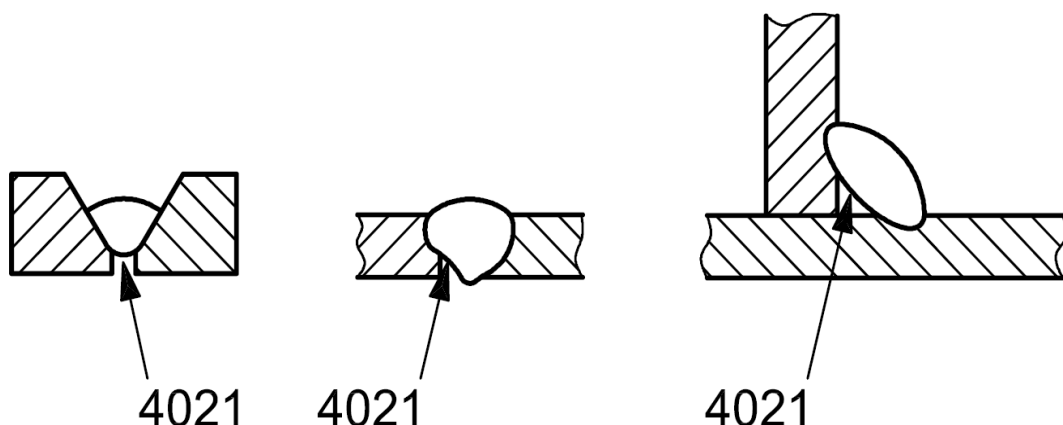


Fig I.18 L'un ou les deux bords de la racine ne sont pas fondus

6) Défaut d'effondrement

Lorsque l'énergie de soudage est trop importante, on peut avoir un effondrement du métal pendant la fusion.

Types d'effondrements:

- ➔ Effondrement à plat
- ➔ Effondrement en angle
- ➔ Effondrement en corniche

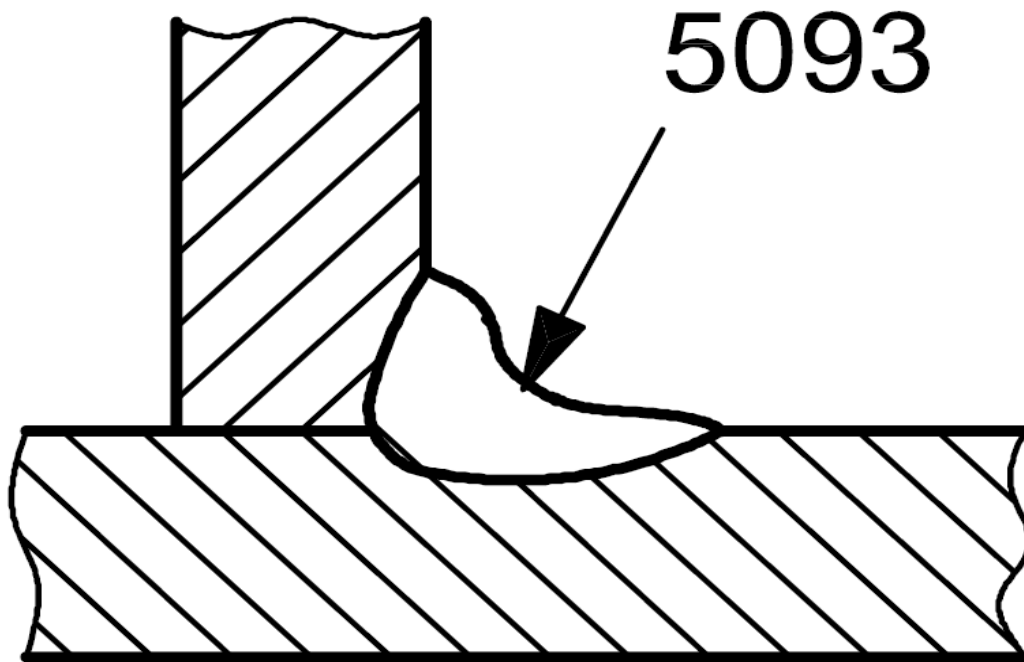


Fig I.19 effondrement d'une soudure d'angle

7) Défauts retassures et criques

Lorsque le métal se refroidit, il est possible que le cordon ne se referme pas de façon uniforme en fin de soudure. Le creux formé est appelé retassure. Les retassures de cratère sont des défauts dus à une mauvaise reprise de passes ou à un arrêt trop brusque de l'arc électrique. Les criques sont défauts non visibles.

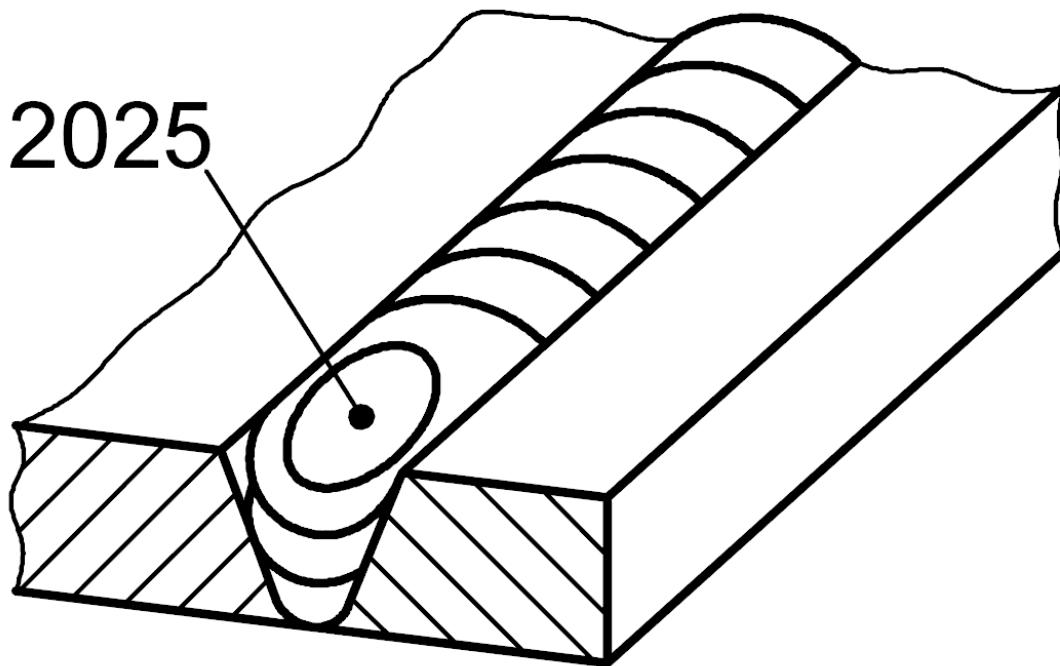


Fig I.20 Retassure ouverte de cratère avec un trou réduisant la section transversale de la soudure

III. Contrôle des joints soudés

Introduction

Toutes les soudures présentent des défauts. Les défauts sont également appelés discontinuité. Les discontinuités sont des lacunes dans la structure cristalline normale du métal. Elles deviennent des défauts inacceptables que lorsque la soudure devient impropre au service auquel elle est destinée. Le rôle de l'inspecteur en soudage consiste à localiser et à déterminer la taille de toute la discontinuité par des méthodes d'essai non destructif (E N D) .les méthodes d'essai non destructifs (E N D) incluent aussi bien des méthodes d'examen que des méthodes de contrôle .le contrôle non destructif (C N D) permet de vérifier la qualité d'une soudure. Les examens et l'essai non destructifs doivent être réalisés sans endommager de la soudure.

Le contrôle des joints soudés est une étape essentielle dans la fabrication et l'assemblage de nombreuses structures métalliques, telles que les constructions, les pipelines, les navires, les avions, etc. Il vise à s'assurer de la qualité et de l'intégrité des soudures, en vérifiant qu'elles répondent aux normes et aux spécifications requises.

Il existe différentes méthodes de contrôle des joints soudés, dont voici quelques-unes des plus couramment utilisées :

1. Inspection visuelle

L'inspection visuelle des joints soudés est une méthode courante utilisée pour évaluer la qualité des soudures (**Fig I.21**)

C'est la méthode la plus simple et la plus basique, consistant à examiner visuellement la surface de la soudure pour détecter les défauts apparents tels que les fissures, les porosités, les inclusions, les déformations, etc.

Voici quelques étapes générales à suivre lors de l'inspection visuelle des joints soudés :

1. Préparation : Assurez-vous que la zone de soudure est propre et dégagée pour une meilleure visibilité. Si nécessaire, nettoyez la surface de la soudure pour enlever les impuretés qui pourraient gêner l'inspection.

2. Éclairage adéquat : Utilisez un éclairage approprié pour obtenir une bonne visibilité de la zone de soudure. Des sources lumineuses supplémentaires telles que des lampes de poche ou des lampes d'inspection peuvent être utilisées pour éclairer les zones difficiles d'accès.

3. Examen visuel : Examinez la soudure de près en recherchant des défauts tels que les fissures, les porosités (petites cavités dans le métal), les inclusions (matériaux étrangers piégés dans la soudure), les déformations ou les discontinuités de la ligne de soudure.

4. Comparaison avec les critères d'acceptation : Comparez les défauts observés avec les critères d'acceptation définis par les normes ou les spécifications applicables. Ces critères peuvent spécifier la taille maximale des défauts acceptables et la quantité de défauts autorisée.

5. Documentation : Documentez vos observations, en prenant des photos ou en faisant des croquis si nécessaire. Ces documents peuvent être utiles pour référence future ou pour des besoins de traçabilité.

Il convient de noter que l'inspection visuelle seule peut ne pas détecter certains défauts internes ou subtils. Dans de tels cas, d'autres méthodes d'inspection non destructives telles que les tests par ultrasons, les tests radiographiques ou les essais par ressuage peuvent être nécessaires.

L'inspection visuelle des joints soudés est généralement effectuée par des inspecteurs qualifiés ayant une connaissance approfondie des procédures d'inspection et des critères d'acceptation applicables.



Fig I.21 Inspection visuelle

2. Contrôle par ressuage

Le contrôle par ressuage, également connu sous le nom de contrôle par ressuage fluorescent ou pénétrant, est une méthode de contrôle non destructif utilisée pour détecter les défauts de surface dans les joints soudés et d'autres pièces métalliques. Cette technique est largement utilisée dans l'industrie pour assurer la qualité des soudures et garantir l'intégrité structurelle des composants. Cette méthode utilise des produits chimiques appelés pénétrants pour détecter les fissures et les défauts superficiels. Le pénétrant est appliqué sur la surface de la soudure, puis un révélateur est utilisé pour faire ressortir les défauts qui seraient autrement invisibles à l'œil nu.

Le processus de contrôle par ressuage implique les étapes suivantes :

1. Préparation de la surface : La surface de la pièce à contrôler est nettoyée soigneusement pour éliminer toute contamination, telle que la graisse, l'huile ou la rouille. Cela garantit que le liquide de ressuage peut pénétrer dans les éventuels défauts présents sur la surface.

2. Application du liquide de ressuage : Le liquide de ressuage, qui est généralement un colorant fluorescent, est appliqué sur la surface de la pièce. Le liquide pénètre dans les fissures ou les pores éventuels présents dans la soudure ou la zone examinée.

3. Temps de pénétration : Le liquide de ressuage est laissé sur la surface pendant un certain temps afin de permettre une pénétration adéquate dans les défauts éventuels.

4. Élimination de l'excès de liquide : Après le temps de pénétration, l'excès de liquide est soigneusement éliminé de la surface de la pièce.

5. Application du révélateur : Un révélateur en poudre est appliqué sur la surface de la pièce. Le révélateur absorbe le liquide de ressuage qui s'est infiltré dans les défauts, créant ainsi une indication visible.

6. Interprétation des résultats : L'opérateur examine attentivement la surface de la pièce pour rechercher les indications de défauts, telles que les fissures ou les inclusions. Les indications sont évaluées en termes de taille, de forme et de localisation, afin de déterminer si elles sont acceptables ou non selon les critères de spécification.

Le contrôle par ressuage est une méthode sensible et efficace pour détecter les défauts de surface dans les joints soudés. Cependant, il est important de noter que cette technique est limitée à la détection de défauts ou de fissures ouvertes et ne peut pas détecter les défauts internes ou les problèmes de qualité de la soudure elle-même. Dans certains cas, d'autres méthodes de contrôle non destructif, telles que le contrôle radiographique ou le contrôle par ultrasons, peuvent être nécessaires pour une évaluation plus complète de la qualité de la soudure.

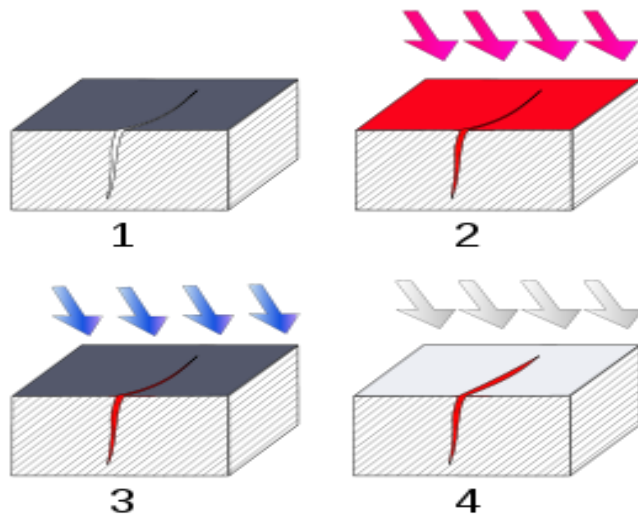


Fig I.22 contrôle par ressuage



Fig I.23 Produits pénétrants

3. Contrôle par radiographie

Il s'agit d'une méthode de contrôle non destructif qui utilise des rayons X ou des rayons gamma pour créer une image de la soudure. Cette technique permet de détecter les défauts internes tels que les fissures, les inclusions de matière, les discontinuités, etc.

Le contrôle par radiographie des joints soudés est une méthode couramment utilisée pour évaluer la qualité des soudures dans de nombreux domaines industriels, tels que la construction navale, la construction d'infrastructures, la fabrication de pipelines et la construction d'équipements sous pression.

Ce type de contrôle non destructif (CND) permet de détecter les défauts internes des soudures, tels que les fissures, les porosités, les inclusions de matière étrangère et les manques de fusion. Le processus implique l'utilisation de rayons X ou de rayons gamma pour pénétrer à travers le matériau soudé.

Le contrôle par radiographie des joints soudés comprend généralement les étapes suivantes :

1. Préparation : La zone de soudure est préparée en éliminant les contaminants et en s'assurant que la surface est propre et lisse.

2. Positionnement : La pièce à souder est positionnée de manière à permettre un accès optimal pour le rayonnement et l'enregistrement des images radiographiques.

3. Source de rayonnement : Une source de rayonnement, telle qu'un générateur de rayons X ou un appareil à rayons gamma, est utilisée pour émettre les rayons à travers la pièce à souder.

4. Enregistrement : Une plaque radiographique sensible ou un détecteur numérique est placé de l'autre côté de la pièce pour capturer l'image radiographique.

5. Traitement des films : Dans le cas des plaques radiographiques, elles doivent être développées et fixées chimiquement pour produire une image visible. Dans le cas des détecteurs numériques, les images sont directement affichées sur un écran d'ordinateur.

6. Évaluation : Les radiographies sont examinées par des professionnels qualifiés, appelés radiographistes, qui recherchent et interprètent les défauts potentiels présents dans la soudure.



Fig I.24 Contrôle radiographique des joints soudés fixes de la tuyauterie d'alimentation en gaz haute pression à l'intérieur de la tranchée

L'interprétation des images radiographiques peut nécessiter une expertise approfondie, car les défauts peuvent être subtils et difficiles à détecter. Par conséquent, il est essentiel que les radiographistes soient formés et certifiés pour effectuer cette tâche de manière précise et fiable.

En résumé, le contrôle par radiographie des joints soudés est une méthode essentielle pour garantir la qualité des soudures, en détectant les défauts internes qui pourraient compromettre l'intégrité structurale des composants soudés.

4. Contrôle par ultrasons

Cette méthode utilise des ondes sonores à haute fréquence pour détecter les défauts internes dans la soudure. Les ondes ultrasonores sont émises à travers la soudure, et les échos résultants sont utilisés pour identifier les défauts tels que les fissures, les porosités, les vides, etc.

5. Contrôle par magnétoscopie

Cette méthode est utilisée pour détecter les défauts de surface et subsurface dans les soudures à l'aide de particules magnétiques. Les particules sont appliquées sur la surface soudée, et des indications magnétiques sont observées pour identifier les défauts tels que les fissures, les inclusions, etc.

Conclusion de chapitre

Ces méthodes de contrôle peuvent être utilisées individuellement ou combinées selon les besoins et les exigences spécifiques de chaque projet. Il est essentiel de choisir la méthode de contrôle appropriée en fonction du type de soudure, des matériaux utilisés et des normes de qualité applicable.

CHAPITRE II
**Préparation de bords et les aciers
de soudage**

I. Préparation des bords et des surfaces avant soudage

La préparation des bords et des surfaces avant le soudage est essentiel pour assurer des joints solides et de haute qualité. Voici quelques étapes générales de préparation :

1. Nettoyage :

Avant de commencer, il est important de nettoyer soigneusement les surfaces à souder pour éliminer la saleté, la graisse, l'huile, la rouille ou tout autre contaminant. Vous pouvez utiliser des solvants appropriés, des brosses métalliques, du papier abrasif ou d'autres méthodes de nettoyage en fonction du matériau à souder. [14]

2. Élimination des revêtements :

Si les bords ou les surfaces sont revêtus de peinture, de vernis ou d'autres revêtements, il est nécessaire de les enlever avant le soudage. Utilisez des outils tels que des grattoirs, des ponceuses ou des décapants chimiques pour éliminer les revêtements de manière appropriée.

3. Préparation des bords :

Selon le type de joint à souder, vous devrez peut-être préparer les bords des pièces à assembler. Les méthodes courantes incluent le chanfreinage, le biseautage ou l'évasement des bords pour créer des formes appropriées. Cela facilite le dépôt de métal d'apport pendant le soudage et permet une meilleure pénétration.

4. Alignement :

Assurez-vous que les pièces à souder sont correctement alignées avant de commencer. Utilisez des équerres, des serre-joints ou d'autres dispositifs de fixation pour maintenir les pièces en place pendant le soudage.

5. Préchauffage (si nécessaire) :

Dans certains cas, notamment lorsque vous soudez des matériaux épais ou sujets à la fissuration, il peut être nécessaire de préchauffer les pièces avant le soudage. Le préchauffage aide à réduire les contraintes thermiques et favorise une solidification plus uniforme du métal d'apport.

6. Inspection visuelle :

Avant de procéder au soudage, effectuez une inspection visuelle finale des surfaces préparées pour vous assurer qu'elles sont propres, exemptes de contaminants et correctement alignées. [13]

II. Chanfreinage

Le chanfreinage de soudure est une étape importante dans la préparation des pièces à souder. Il consiste à réaliser une forme en biseau ou en V sur les bords des pièces à assembler avant de les souder ensemble. Cette technique permet d'obtenir une meilleure pénétration du métal d'apport lors de la soudure, ce qui renforce la solidité de la jointure.

Le chanfreinage peut être réalisé de différentes manières, en fonction des matériaux utilisés et du type de soudure envisagé. Voici quelques techniques couramment utilisées :

1. Chanfrein en V simple :

Les bords des pièces sont coupés en forme de V avec un angle de 45 degrés. Ce type de chanfrein est souvent utilisé pour les soudures à l'arc ou au gaz. (**Fig II.1**) [1]

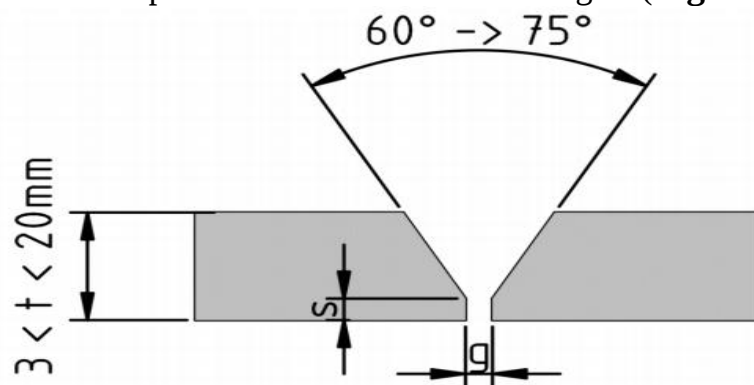


Fig II.1 Chanfrein en V simple

2. Chanfrein en X :

Les bords des pièces sont coupés en forme de X croisé, offrant une plus grande surface de contact entre les pièces. Ce type de chanfrein est souvent utilisé pour les soudures à haute résistance. (**Fig II.2**)

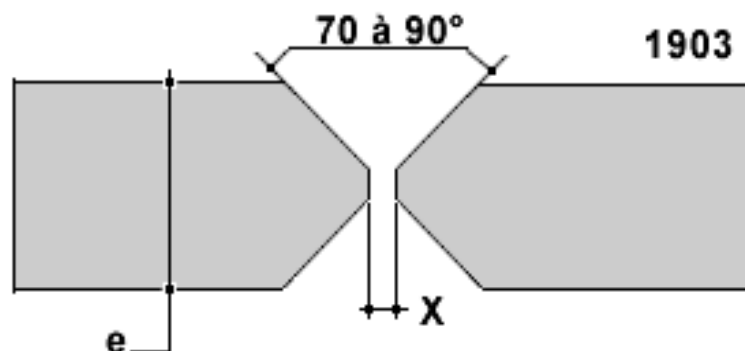


Fig II.2 Chanfrein en X

3. Chanfrein en J :

Un côté du bord de la pièce est coupé en forme de V, tandis que l'autre côté est laissé droit. Cette technique est souvent utilisée pour les soudures à angle droit. (**Fig II.3**)

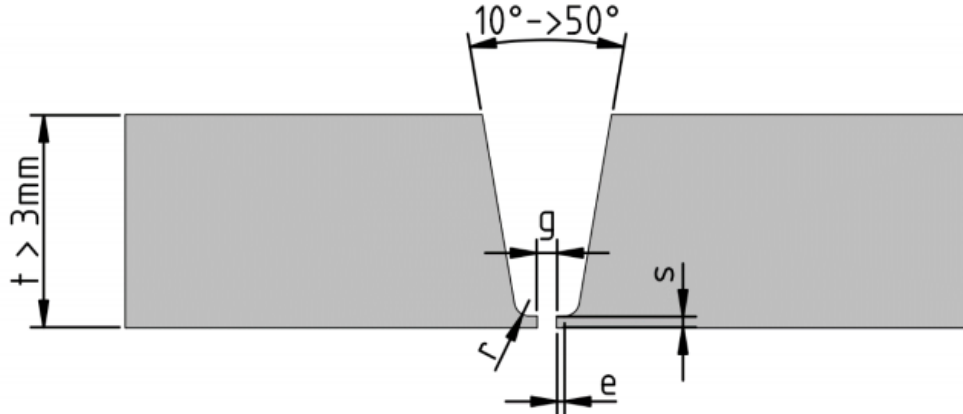


Fig II.3 Chanfrein en J

Le type de chanfrein utilisé dépendra du type de joint à réaliser, de l'épaisseur des pièces à souder et du matériau utilisé. Il est important de choisir le bon type de chanfrein pour assurer une soudure solide et durable.

Il est recommandé de suivre les normes et les recommandations spécifiques du processus de soudage utilisé ainsi que les directives du fabricant pour obtenir les meilleurs résultats lors du chanfreinage de soudure.

III. Généralités sur la protection des joints de soudure

La protection des joints de soudure est un aspect essentiel dans le domaine de la soudure, visant à garantir la qualité, la durabilité et la sécurité des soudures réalisées. Les soudures sont utilisées dans de nombreuses industries, notamment la construction, la fabrication, l'aérospatiale et l'automobile, et elles doivent résister à diverses contraintes mécaniques, thermiques et environnementales. La protection adéquate des joints de soudure contribue à prévenir les défauts et les défaillances qui pourraient survenir au fil du temps. Voici quelques généralités importantes sur la protection des joints de soudure :

1. Protection contre l'oxydation et la corrosion :

Les soudures exposées à l'air peuvent réagir avec l'oxygène et former de l'oxyde, ce qui affaiblit la résistance de la soudure et peut conduire à la corrosion. L'utilisation de gaz inertes comme l'argon ou l'hélium lors de la soudure peut aider à minimiser cette réaction en formant une atmosphère protectrice autour de la zone de soudure.

2. Protection thermique :

Lors de la soudure, la chaleur intense peut provoquer la déformation du matériau environnant, ce qui peut affecter la géométrie et les propriétés mécaniques du joint de soudure. L'utilisation de méthodes de refroidissement appropriées, telles que la mise en place de dispositifs de refroidissement ou l'utilisation de gaz de refroidissement, peut aider à contrôler le taux de refroidissement et à minimiser la déformation.

3. Protection mécanique :

Certains joints de soudure sont soumis à des contraintes mécaniques importantes, comme les soudures dans les structures de construction ou les composants automobiles. Renforcer la soudure avec des renforts, des soudures de renfort ou des renforts mécaniques peut contribuer à améliorer la résistance et la durabilité du joint.

4. Protection contre les contaminants :

Lors de la soudure, il est crucial de maintenir la propreté de la surface de soudage et du matériau d'apport. Les contaminants tels que la graisse, l'huile, la saleté ou la peinture peuvent entraîner des soudures de mauvaise qualité, des porosités ou des fissures. Le nettoyage préalable de la zone de soudure est donc essentiel.

5. Protection contre les fissures :

Les contraintes thermiques et mécaniques lors de la solidification de la soudure peuvent créer des contraintes internes qui favorisent la formation de fissures. L'application de techniques appropriées, comme la préchauffe, le choix d'un matériau d'apport compatible et la mise en œuvre de pratiques de soudure appropriées, peut aider à prévenir la formation de fissures.

6. Inspection et tests :

Une fois la soudure terminée, il est important de procéder à des inspections et à des tests non destructifs pour vérifier la qualité du joint. Des méthodes telles que les essais par ultrasons, les essais radiographiques, les essais par ressuage et les essais magnétoscopiques peuvent être utilisées pour détecter d'éventuels défauts internes.

En résumé, la protection des joints de soudure englobe diverses pratiques visant à assurer la qualité, la résistance et la durabilité des soudures. Une combinaison de techniques appropriées, de matériaux de soudure de haute qualité, de préparation de surface adéquate et de soins lors du processus de soudage contribue à la réalisation de joints de soudure fiables et performants.

IV. Classification des gaz

Les gaz utilisés dans le soudage sont généralement classés en deux catégories principales : les gaz de protection et les gaz de soudage. Chacune de ces catégories remplit des fonctions spécifiques pour assurer la qualité et la sécurité du processus de soudage. Voici une classification générale des gaz utilisés dans la soudure :

1. Gaz de protection :

- **Gaz inerte** : Ces gaz ne réagissent pas chimiquement avec les métaux en fusion et sont utilisés principalement pour protéger la zone de soudure de l'oxydation et de la contamination. Les gaz inertes les plus couramment utilisés sont l'argon et l'hélium.

- **Gaz actif** : Ces gaz réagissent chimiquement avec les impuretés présentes dans le métal en fusion et peuvent améliorer les propriétés de la soudure. Le dioxyde de carbone (CO₂) est l'exemple le plus courant de gaz actif utilisé en soudage.

2. Gaz de soudage :

- **Gaz de soudage oxydant** : Ces gaz favorisent l'oxydation du métal en fusion et sont utilisés pour certains processus de soudage spécifiques, comme le soudage oxyacétylénique. L'oxygène est l'exemple le plus courant de gaz oxydant.

- **Gaz de soudage réducteur** : Ces gaz réduisent l'oxydation du métal en fusion et sont utilisés dans des processus de soudage comme le soudage à l'arc sous protection gazeuse (MIG/MAG). Le mélange d'argon et de dioxyde de carbone (CO₂) est couramment utilisé comme gaz de soudage réducteur.

3. Gaz de coupe :

- Le gaz oxyacétylénique est le plus couramment utilisé pour la coupe des métaux à haute température.

4. Gaz auxiliaires :

- D'autres gaz, tels que l'azote, peuvent être utilisés en complément des gaz de protection ou de soudage pour des applications spécifiques, notamment le soudage des aciers inoxydables et la découpe au laser.

VI. Influence des gaz de protection

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 à souder comme le montre le tableau II.1. [15]

Tableau II.1 Choix de gaz en fonction de métal a souder

Gaz	Applications
Argon (Ar)	Soudage de la majorité des métaux non ferreux
Hélium (He)	Soudage de l'aluminium et du cuivre
CO ₂	Soudage des aciers au carbone et des aciers faiblement alliés
Ar (75 %) et He (25 %) (ex. Imarc 17) Ar (50 %) et He (50 %) Ar (25 %) et He (75 %)	Soudage de l'aluminium, du cuivre et de leurs alliages
Ar (98 %) et O ₂ (2 %) (ex. Imarc 95)	Soudage des aciers alliés et inoxydables
Ar (90 %) et CO ₂ (10 %) Ar (85 %) et CO ₂ (15 %) (ex. Irealm) Ar (75 %) et CO ₂ (25 %) Ar (98 %) et O ₂ (2 %) Ar (95 %) et O ₂ (5 %)	Soudage de la plupart des aciers Pour soudage en mode pulsé
He (90 %), Ar (7,5 %) et CO ₂ (2,5 %) Ar (98 %) et O ₂ (2 %) Ar (96,5 %) et CO ₂ (2,5 %) et H ₂ (1 %)	Soudage des aciers inoxydables

Les gaz interviennent sur la qualité et la forme du cordon, ainsi que sur la vitesse d'exécution et sur la pénétration

Les gaz de protection lors du soudage influence non seulement la qualité, mais aussi la productivité des opérations de soudage ainsi que les conditions de travail des soudeurs et opérateurs. Le rôle principal du gaz de soudage est de protéger le bain de fusion contre les influences nuisibles de l'air ambiant.

N.B : Un arc dans l'argon est long et un arc dans le gaz carbonique est court

La **Fig II.4**, ci-après illustre les effets des gaz de protection sur le dépôt de métal d'apport et la **Fig II.5**- illustre l'apparence du cordon, sur l'acier, en fonction des différents mélanges gazeux utilisés lors des procédés MIG/MAG (GMAW).

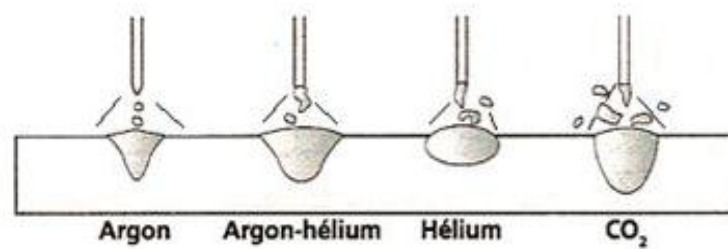


Fig II.4 les effets des gaz de protection sur le dépôt de métal d'apport

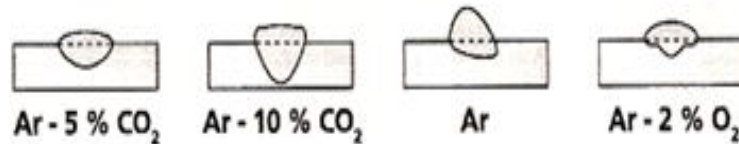


Fig II.5 l'apparence du cordon, sur l'acier

Précautions à prendre pour réduire les risques de contamination des gaz de protection. Procéder à une purge du régulateur et du tuyau d'alimentation avec du gaz de protection, si le matériel n'a pas été utilisé pendant un certain temps. Vérifier qu'il n'y ait aucune fuite dans aucun tuyau d'alimentation en gaz ou dans aucun connecteur. Ajuster le débit de gaz en fonction du type de soudage nécessaire. Ne pas trop incliner la torche. Une inclinaison de la torche de moins en moins perpendiculaire par rapport au métal à souder peut entraîner de l'air par effet venturi d'injection.

VII. Couleur d'ogives des bouteilles de gaz de soudage

Les couleurs d'ogives des bouteilles de gaz industriels sont basées sur le risque associé au contenu de bouteille. Les bandes de couleurs supplémentaires pour les mélanges de gaz n'existent plus. Les raccords de sorties des bouteilles sont inchangés (sens de serrage et dimensionnement de filetage). Voir (**Fig II.6**) [6]

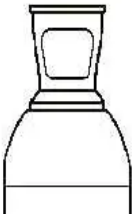
La règle des quatre couleurs de la norme

La règle générale est constituée de quatre couleurs.

Toxique et/ou corrosif	Inflammable	Oxydant	Inerte
Jaune	Rouge	Bleu clair	Vert vif
			

Fig II.6 Les quatre couleurs principales d'ogives de la bouteille de gaz de soudage

Les couleurs d'ogives qui ne changent pas

BLANC	NOIRE	MARRON	ROUGE
			
OXYGÈNE	AZOTE	ACÉTYLÈNE	HYDROGÈNE

BRUN	BLEU FONCE	GRIS
		
HELIUM	PROTOXYDE D'AZOTE	DIOXYDE DE CARBONE

Fig II.7 Les couleurs d'ogives qui ne changent pas

VII.1. Les différentes familles d'aciers en soudage

En soudage, il existe plusieurs familles d'aciers qui sont utilisées en fonction de leurs propriétés et de leurs applications spécifiques. Voici quelques-unes des principales familles d'aciers en soudage :

1. Aciers au carbone :

Les aciers au carbone sont principalement composés de fer et de carbone, avec de faibles quantités d'autres éléments d'alliage. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications de soudage, notamment la construction, la fabrication de machines et les structures métalliques.

2. Aciers inoxydables :

Les aciers inoxydables contiennent du chrome (généralement plus de 10 %) pour leur conférer une résistance à la corrosion. Ils sont couramment utilisés dans l'industrie chimique, alimentaire et pharmaceutique, ainsi que dans la fabrication de matériel médical.

3. Aciers alliés :

Les aciers alliés contiennent des éléments d'alliage tels que le nickel, le chrome, le molybdène, le vanadium, etc., pour améliorer leurs propriétés mécaniques. Ils sont utilisés dans des applications nécessitant une résistance élevée, comme l'aérospatiale, l'automobile et les équipements de forage pétrolier.

4. Aciers à outils :

Les aciers à outils sont conçus pour avoir une dureté élevée, une résistance à l'usure et une stabilité à haute température. Ils sont utilisés pour fabriquer des outils de coupe, des matrices, des moules et d'autres composants nécessitant une durabilité élevée.

5. Aciers à haute résistance :

Ces aciers sont fabriqués pour avoir une résistance mécanique élevée tout en conservant une certaine ductilité. Ils sont utilisés dans l'industrie automobile, la construction navale et d'autres applications nécessitant des matériaux légers et résistants.

6. Aciers doux et bas carbone :

Ces aciers sont caractérisés par une faible teneur en carbone, ce qui les rend faciles à souder. Ils sont couramment utilisés dans la construction légère et d'autres applications où la soudabilité est essentielle.

7. Aciers à faible alliage :

Les aciers à faible alliage contiennent de petits pourcentages d'éléments d'alliage pour améliorer leurs propriétés sans les rendre coûteux à produire. Ils sont utilisés dans diverses applications industrielles.

8. Aciers résistants à la corrosion :

Ces aciers sont conçus pour résister à la corrosion atmosphérique ou à des environnements corrosifs spécifiques. Ils sont utilisés dans des structures exposées à des conditions corrosives.

9. Aciers martensitiques :

Les aciers martensitiques sont caractérisés par leur capacité à subir un durcissement par trempe, ce qui les rend adaptés à des applications telles que les couteaux, les lames de scie et les pièces mécaniques nécessitant une dureté élevée.

10. Aciers réfractaires :

Ces aciers sont conçus pour résister à des températures élevées et sont utilisés dans les industries telles que la métallurgie, la production d'énergie et la chimie.

Il est important de choisir le type d'acier approprié en fonction des exigences spécifiques de l'application de soudage, notamment la résistance mécanique, la résistance à la corrosion, la soudabilité et la stabilité à haute température. Les procédés de soudage, les techniques et les matériaux d'apport sont également sélectionnés en fonction du type d'acier utilisé.

VII. Rôles des principaux éléments d'addition dans les aciers (éléments alphagènes et gammagènes)

Les éléments d'addition dans les aciers jouent un rôle crucial dans la modification des propriétés de l'acier en influençant sa structure et ses caractéristiques mécaniques. Ces éléments sont généralement classés en deux catégories principales : les éléments alphagènes et les éléments gammagènes.

1. Éléments alphagènes :

Les éléments alphagènes favorisent la formation de la phase alpha (ferrite) dans l'acier. La ferrite est une phase cristalline de l'acier qui est généralement douce et ductile. Les éléments alphagènes courants comprennent :

a. Aluminium (Al) : Il favorise la formation de ferrite et améliore la résistance à la corrosion.

b. Silicium (Si) : Le silicium favorise également la formation de ferrite et améliore la résistance à la corrosion et à l'oxydation.

c. Manganèse (Mn) : Le manganèse favorise la formation de ferrite, améliore la ductilité et la résistance à la corrosion.

d. Nickel (Ni) : Le nickel favorise la formation de ferrite et augmente la résistance à la corrosion et aux températures élevées.

2. Éléments gammagènes :

Les éléments gammagènes favorisent la formation de la phase gamma (austénite) dans l'acier. L'austénite est une phase cristalline de l'acier qui est généralement plus dure et plus résistante que la ferrite. Les éléments gammagènes courants comprennent :

a. Chrome (Cr) : Le chrome favorise la formation d'austénite et augmente la résistance à la corrosion et à l'oxydation.

b. Cobalt (Co) : Le cobalt favorise également la formation d'austénite et améliore la résistance à la corrosion et aux températures élevées.

c. Cuivre (Cu) : Le cuivre favorise la formation d'austénite, augmente la résistance à la corrosion, et peut améliorer la conductivité électrique.

d. Nitrure de titane (TiN) : Les nitrures de titane sont souvent utilisés comme éléments de renforcement pour améliorer la résistance à l'usure de l'acier.

L'ajout d'éléments alphagènes ou gammagènes dans l'acier permet aux fabricants de contrôler la microstructure et les propriétés mécaniques de l'acier, notamment sa dureté, sa ductilité, sa résistance à la corrosion, sa résistance à la chaleur, etc. Ces éléments sont souvent utilisés en combinaison pour obtenir les propriétés souhaitées pour une application spécifique. Le choix des éléments d'addition dépend donc des exigences spécifiques de l'acier et de son utilisation prévue.

CHAPITRE III
**Choix de chanfrein et interfaces
de l'application
"WeldingEdgeGuide"**

Introduction

Lorsqu'il s'agit de créer un outil Windows dédiée à la gestion des bords de pièces à souder, il est essentiel de concevoir un outil efficace et convivial pour les professionnels de la soudure. Cet outil vise à simplifier le processus de planification, de suivi et de documentation des opérations de soudage, en mettant l'accent sur la qualité et la rigidité des soudures.

Notre outil, que nous nommerons "WeldingEdgeGuide", a été spécialement conçu pour répondre aux besoins spécifiques des soudeurs, des ingénieurs et inspecteurs en soudage. Il offre une interface intuitive qui permet de gérer tous les aspects liés aux bords de pièces à souder, de la conception initiale à l'inspection finale.

Dans cette introduction, nous allons explorer en détail comment "WeldingEdge Guide" peut simplifier et améliorer les opérations de soudage, en mettant l'accent sur la réduction des coûts, l'amélioration de la qualité et la conformité aux réglementations. Découvrez comment notre outil révolutionnaire peut transformer notre manière de gérer les bords de pièces à souder, en offrant un contrôle total et une visibilité accrue sur chaque étape du processus de soudage.

I. JAVA SCRIPT

JavaScript est un langage de programmation de haut niveau, orienté objet et interprété principalement utilisé pour le développement web. Il permet d'ajouter des fonctionnalités interactives et dynamiques aux sites web en manipulant le contenu HTML et en interagissant avec le navigateur de l'utilisateur.

JavaScript

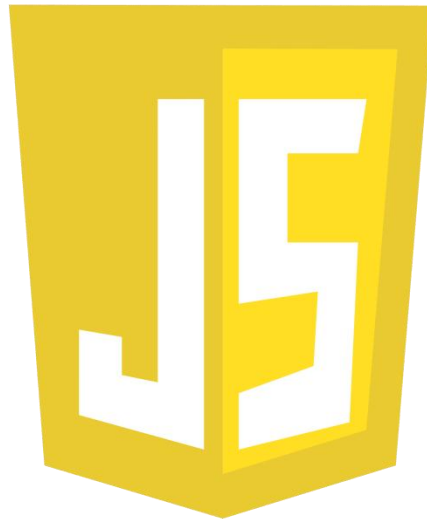


Fig III.1 JAVA Script logo

Les logiciels qui nous utilisons sont :

1. React JS

React JS est une technologie développée pour faciliter la création d'interface d'une application, elle permet notamment de créer des sites internet sous forme de Single Page Application (des sites internet qui sont constitués d'une seule page), en créant un DOM virtuel



Fig III.2 React JS logo

Le rôle de React JS

React (également connu sous le nom de React. js ou ReactJS) est une bibliothèque JavaScript frontale à code source ouvert permettant de créer des interfaces utilisateur ou des composants d'interface utilisateur. Elle est maintenue par Facebook et une communauté de développeurs individuels et d'entreprises.

2. Electron JS

Electron est une librairie open source développée par GitHub pour créer des applications desktop cross-platform avec HTML, CSS et JavaScript. C'est en combinant le navigateur libre Chromium et Node.js en un seul runtime qu'Electron accomplit cette tâche.



Fig III.3 ELECTRON JS logo

La différence entre React JS et Electron JS

Electron est un framework JavaScript dans lequel vous pouvez créer des applications de bureau multiplateformes en utilisant HTML5, CSS3 et JavaScript, comme React.js est une bibliothèque permettant de créer des applications Web modernes. Et en fait, vous pouvez utiliser React.js avec Electron pour créer également des applications de bureau.

II. Etapes de création de l'outil

1. Démarrer un projet REACT

Démarrer un nouveau projet REACT

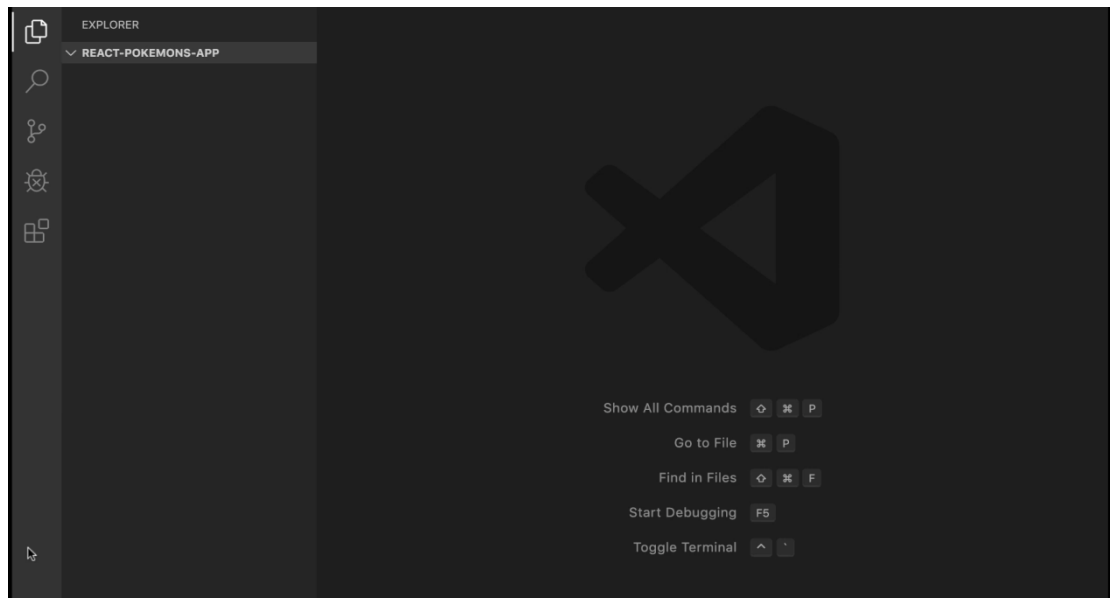


Fig III.4 Interface de Démarrer un projet REACT

2. Mettre en place TypeScript dans notre projet REACT

Entrer les commandes de TypeScript

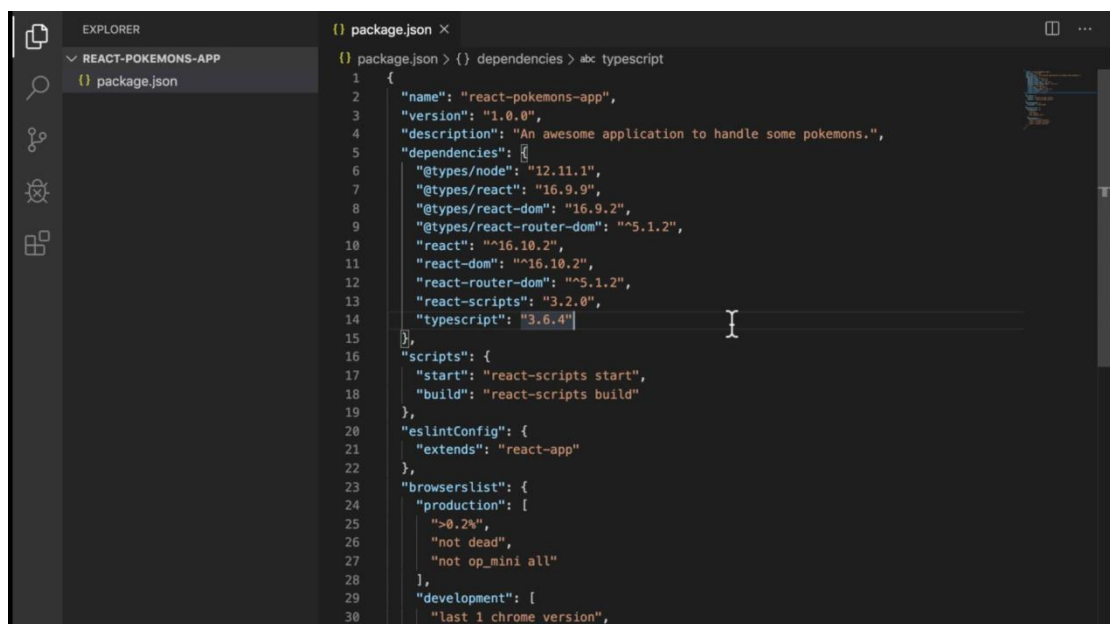


Fig III.5 Interface Mettre en place TypeScript dans notre projet REACT

3. Installation des dépendances de notre outil

Entrer les interfaces des dépendances

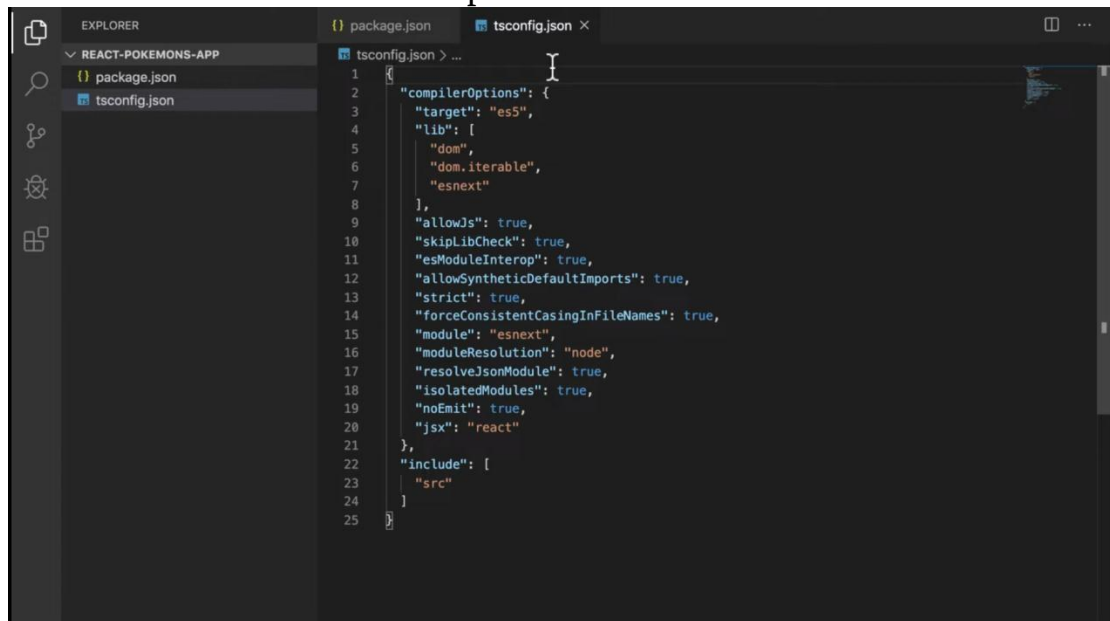


Fig III.6 Interface Installation des dépendances de notre application

4. Création des composants REACT

Entrer les interfaces des composants

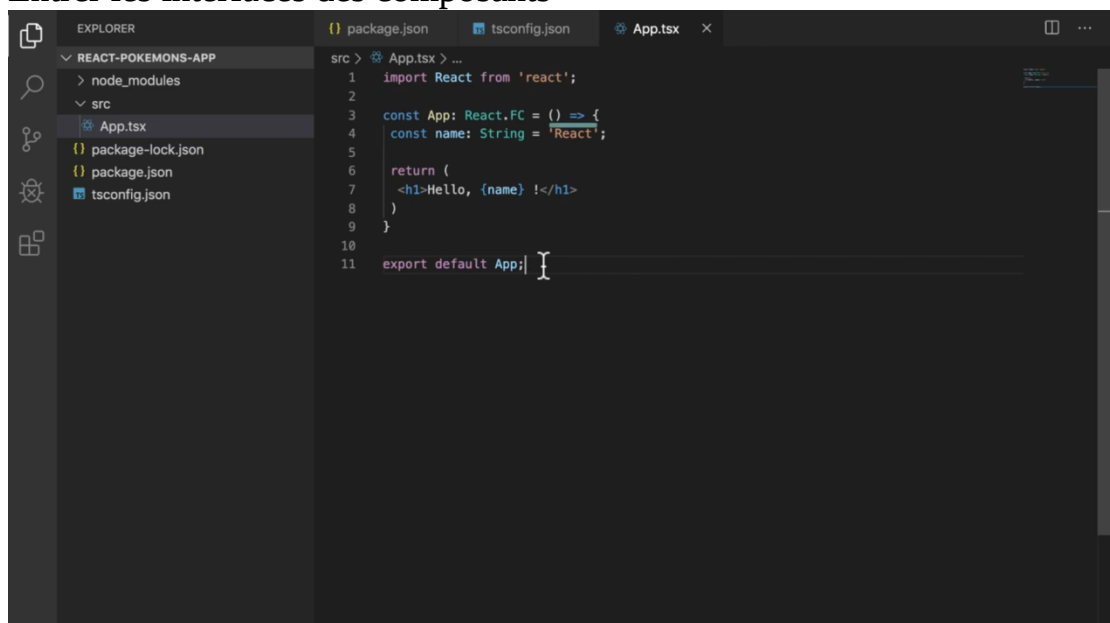


Fig III.7 Interface Création des composants REACT

5. Création d'un point d'entrée pour notre outil REACT

Créer un point d'entrée ou le programme commence

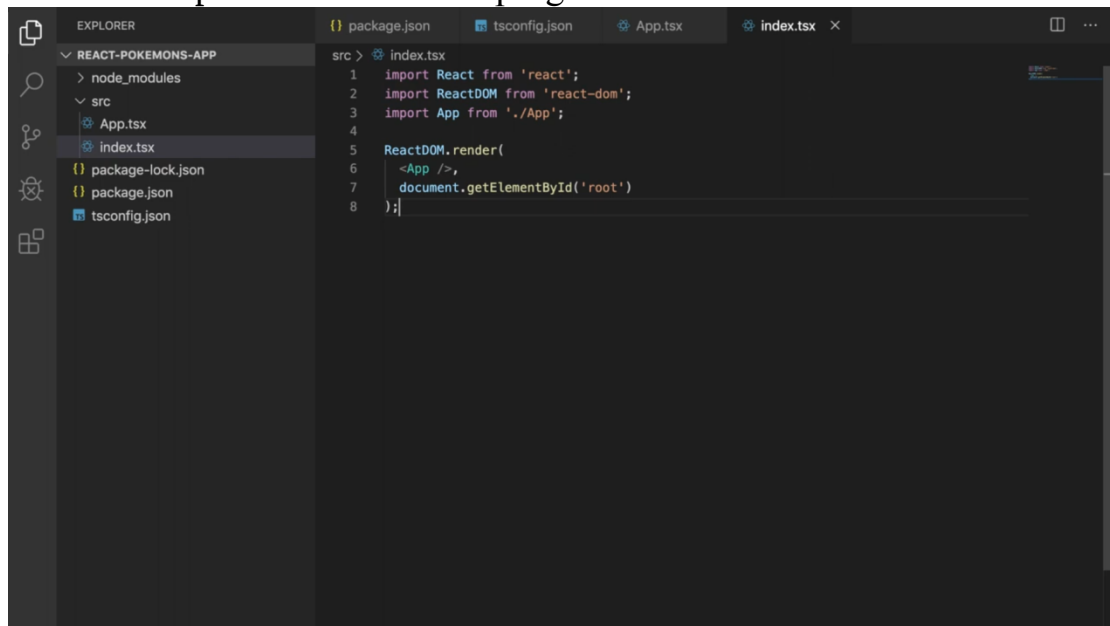


Fig III.8 Interface Création d'un point d'entrée pour notre application REACT

6. Ajouter le fichier racine de notre outil

Ajouter les interfaces de fichier racine

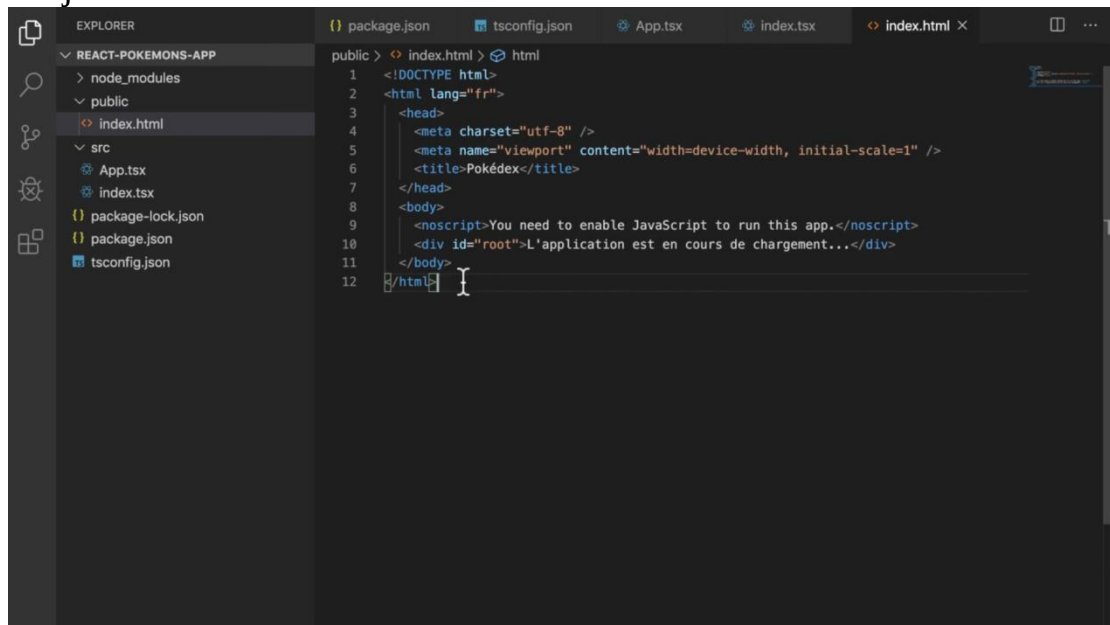


Fig III.9 Interface Ajouter le fichier racine de notre application

7. Création de menu sidebar

Créer sidebar qui est un élément qui affiche le contenu de la page

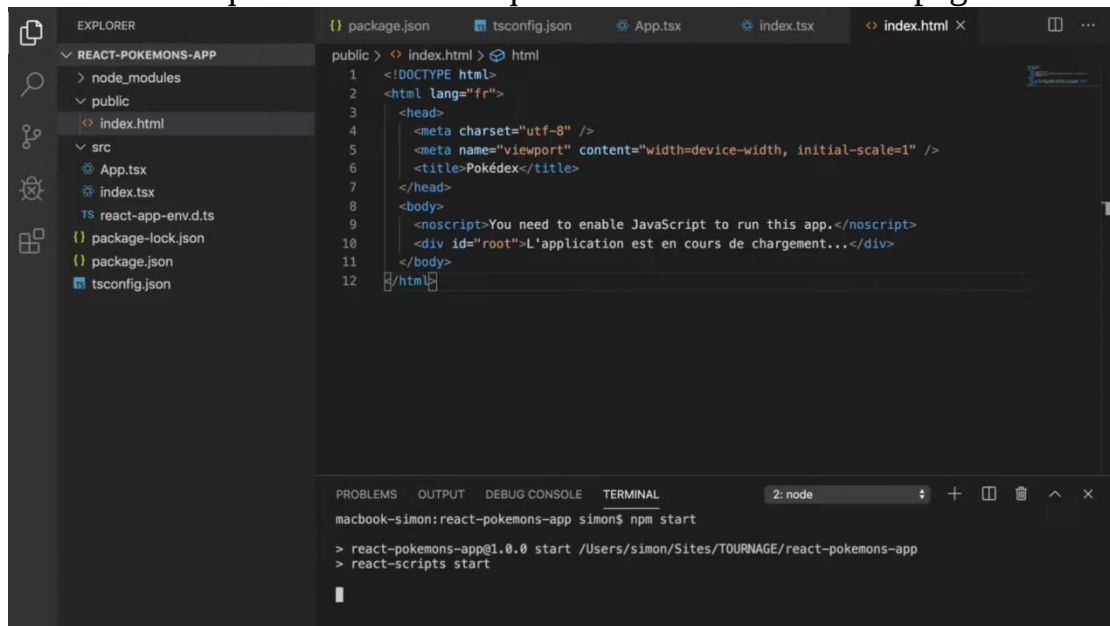


Fig III.10 Interface Création de menu sidebar

8. Création de données de la sidebar

Créer le contenu de sidebar

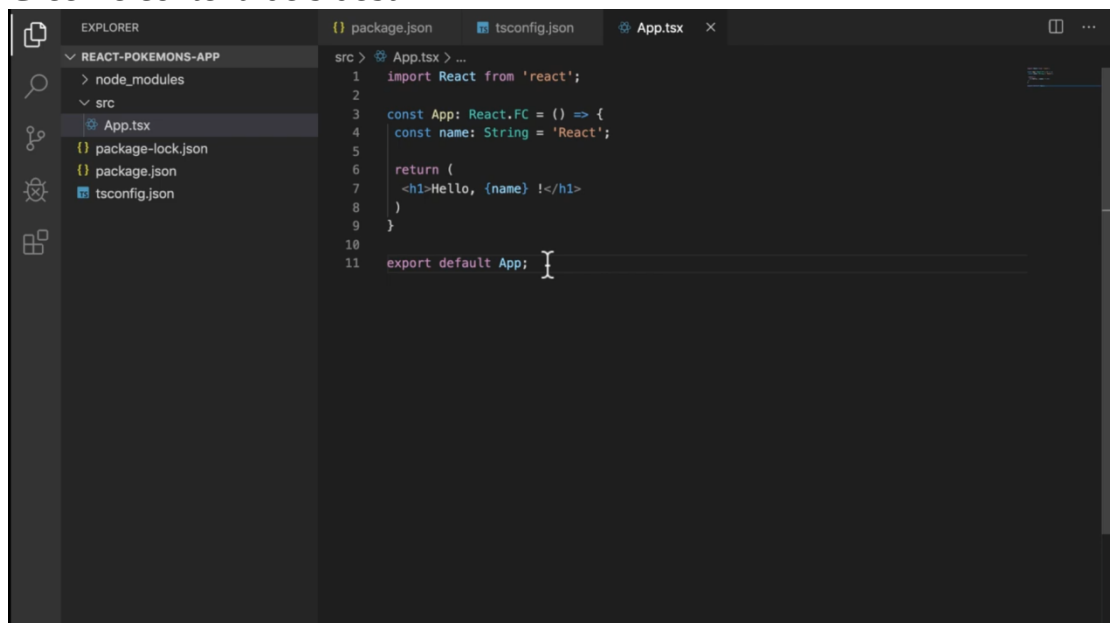


Fig III.11 Interface Création de données de la sidebar

9. Ajout de styles CSS

Ajouter CSS qui permet de créer des pages web

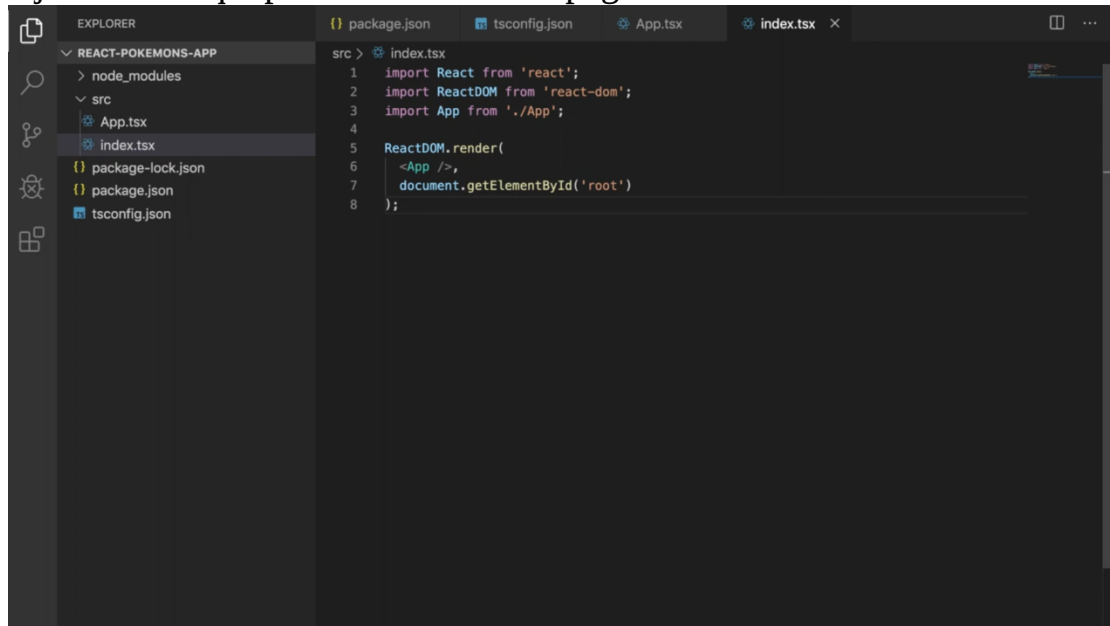


Fig III.12 Interface Ajout de styles CSS

10. Optimisation et améliorations

Correction finale des malfonctions ou des bugs

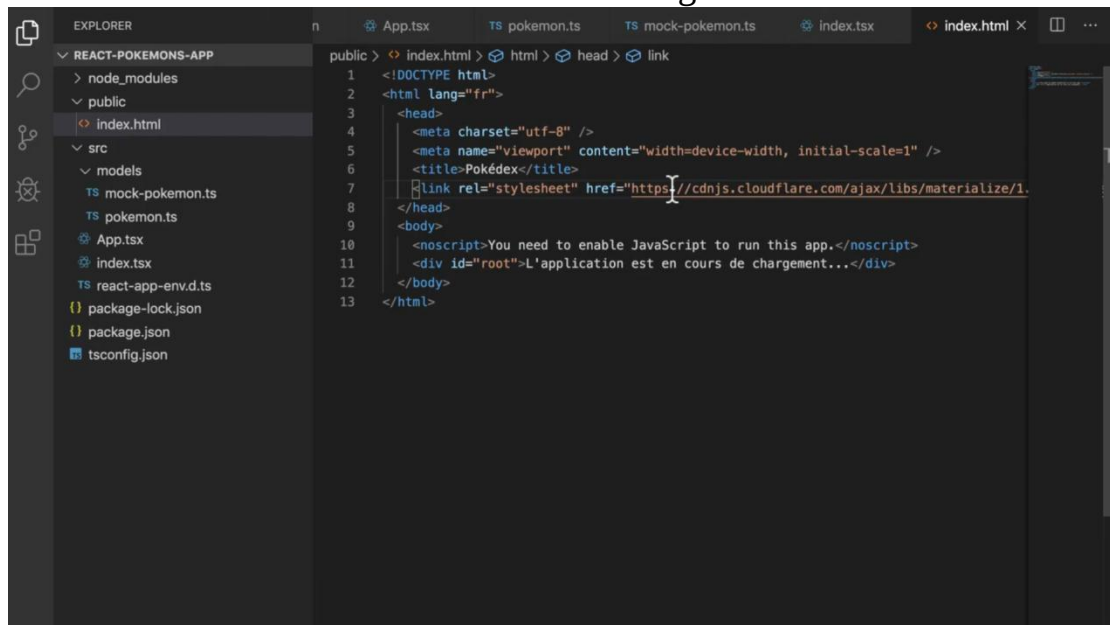


Fig III.13 Interface Optimisation et améliorations

III. Choix du chanfrein [2]

III.1. En fonction d'épaisseur

1. Gamme d'épaisseur $2\text{mm} \leq t < 5\text{mm}$

Bords droits pour les plaques dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 2 mm mais inférieure à 5 mm

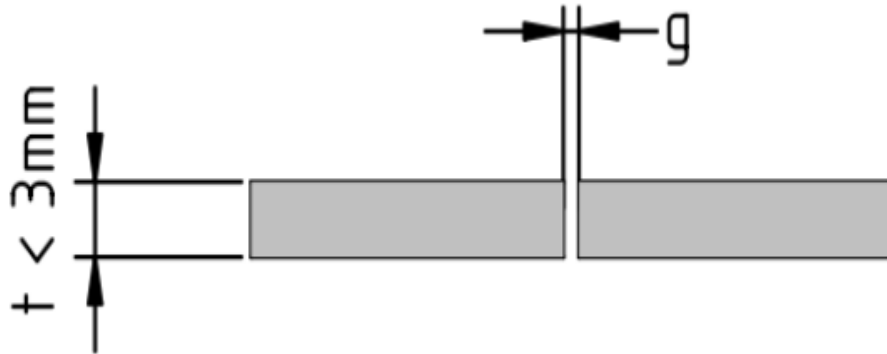


Fig III.14 Bord droit

2. Gamme d'épaisseur $5\text{mm} \leq t \leq 12\text{mm}$

Bords chanfreinés en V pour les plaques dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 5 mm mais inférieure ou égale à 12 mm

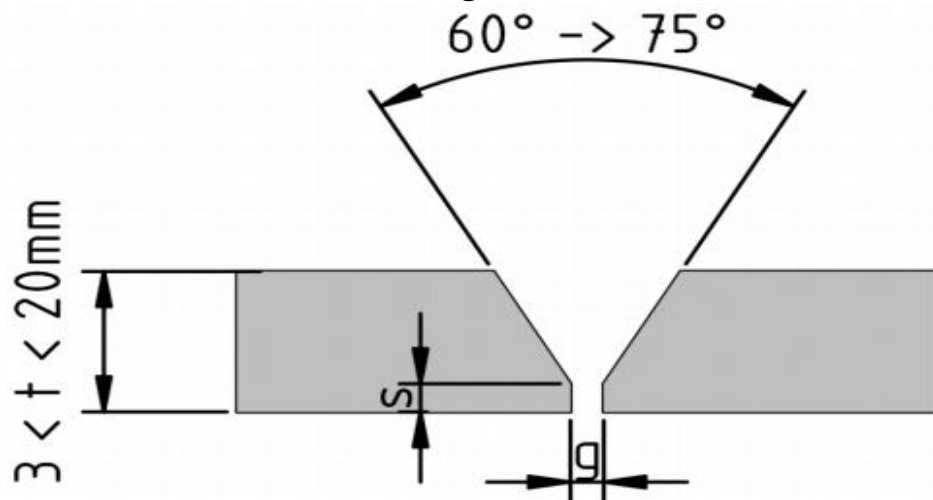


Fig III.15 Chanfrein en V

3. Gamme d'épaisseur $12\text{mm} \leq t \leq 20\text{mm}$

Bords chanfreinés en X pour les plaques dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 12 mm mais inférieure ou égale à 20 mm

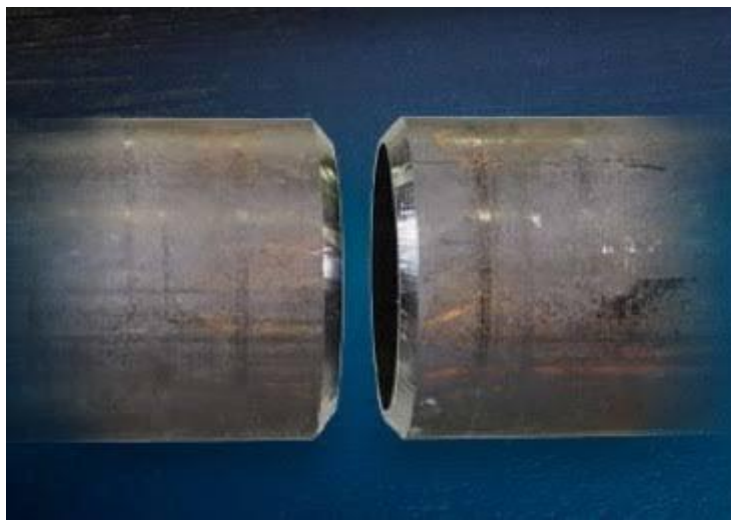
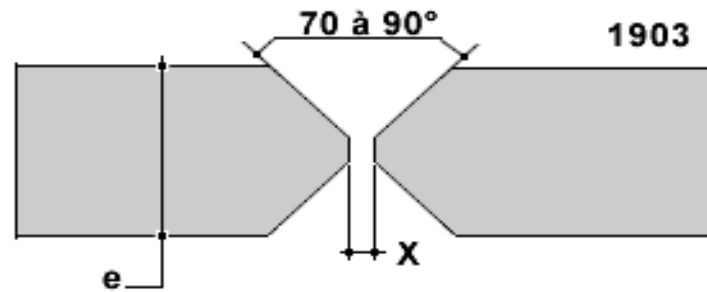


Fig III.16 Chanfrein en X



Fig III.17 Chanfrein X après soudage

4. Gamme d'épaisseur $t \leq 20\text{mm}$

a. Chanfrein en V doubles pentes (V composés)

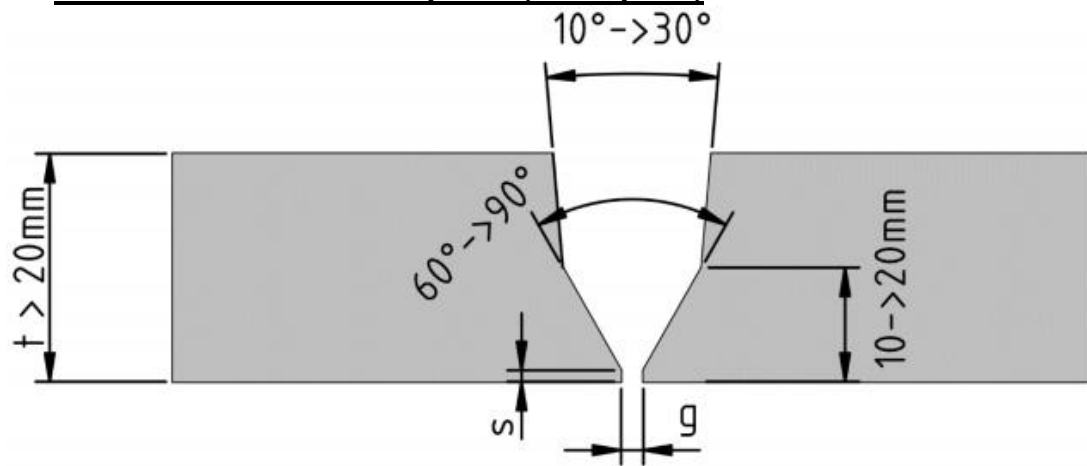


Fig III.18 Chanfrein en V doubles pentes (V composé)

b. Chanfrein en J

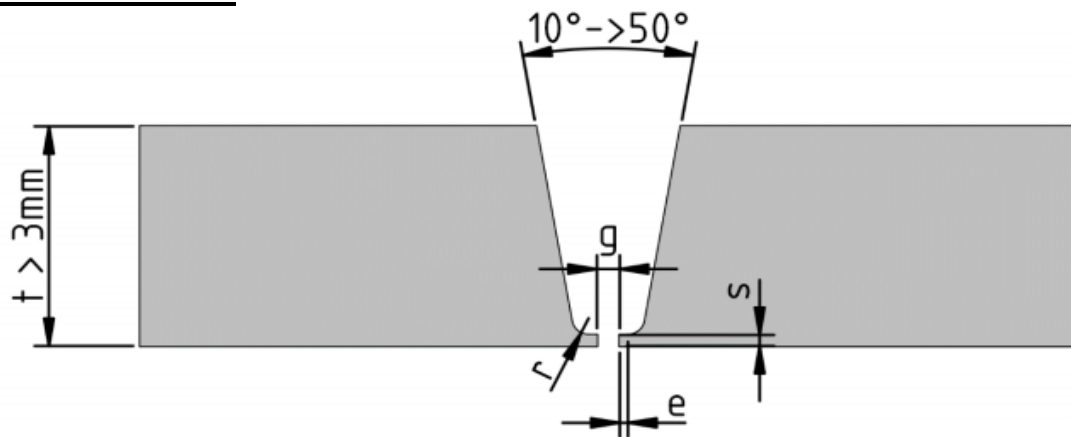


Fig III.10 Chanfrein en J

J double pente (J Composé)

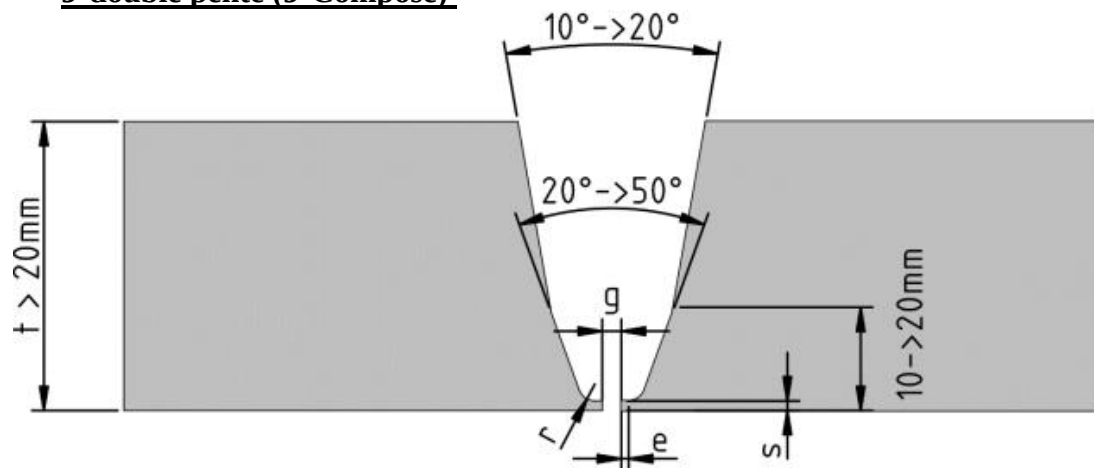


Fig III.19 Chanfrein en J composé

III.2. En fonction de type de procédé de soudage

1. Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)



Fig III.20 Soudage à l'arc

Les chanfreins en V, X ou U sont couramment utilisés pour ce type de soudage

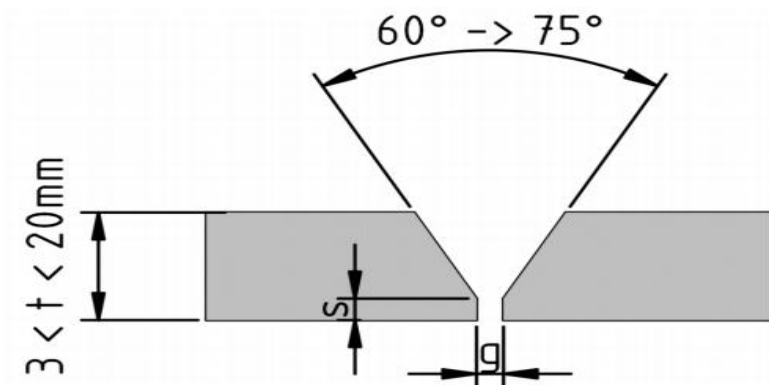


Fig III.21 CHANFREIN V

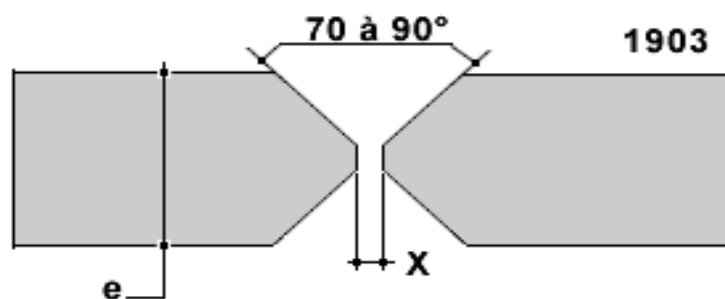


Fig III.22 CHANFREIN X

2. Soudage TIG (GTAW)



Fig III.23 Soudage TIG

Un chanfrein en X ou en V peut être approprié pour le soudage TIG.

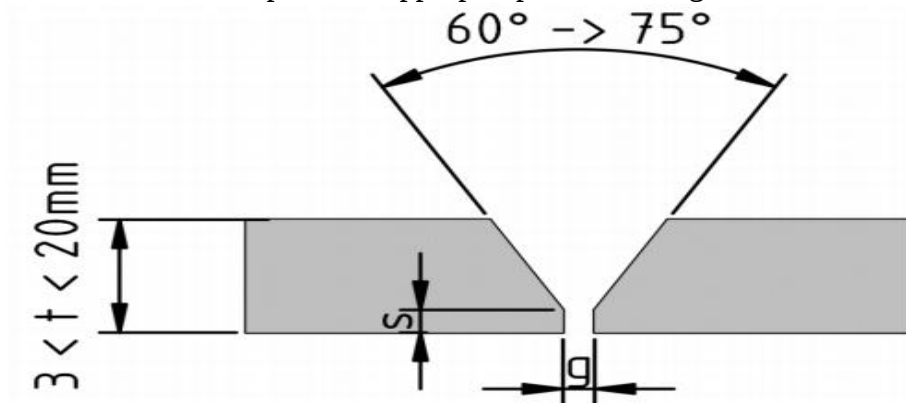


Fig III.24 Chanfrein en V

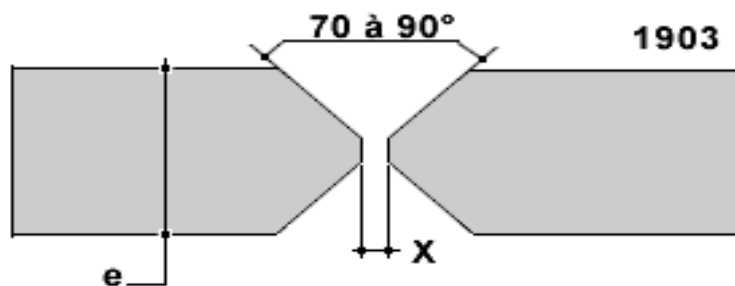


Fig III.25 Chanfrein en X

3. Soudage MIG/MAG (GMAW)



Fig III.26 Soudage MIG/MAG

Les chanfreins en J, X sont souvent utilisés pour ce type de soudage

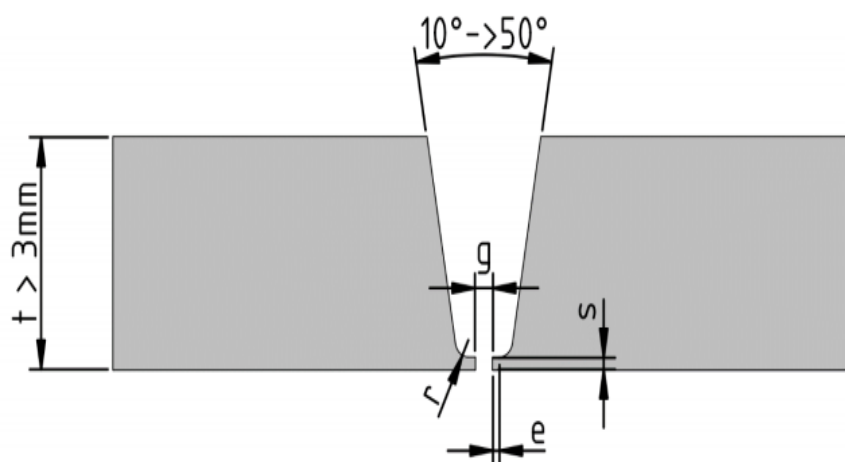


Fig III.27 Chanfrein en J

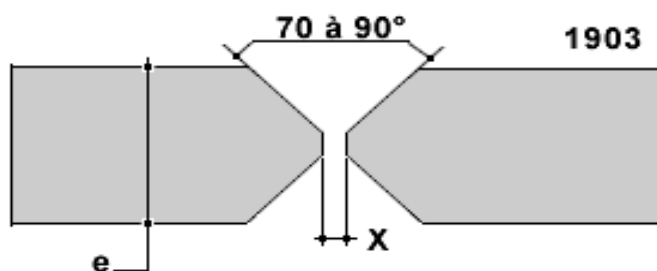


Fig III.28 Chanfrein en X

IV. Interfaces de l'outil

IV.1. Type de bord en fonction d'épaisseur de pièce

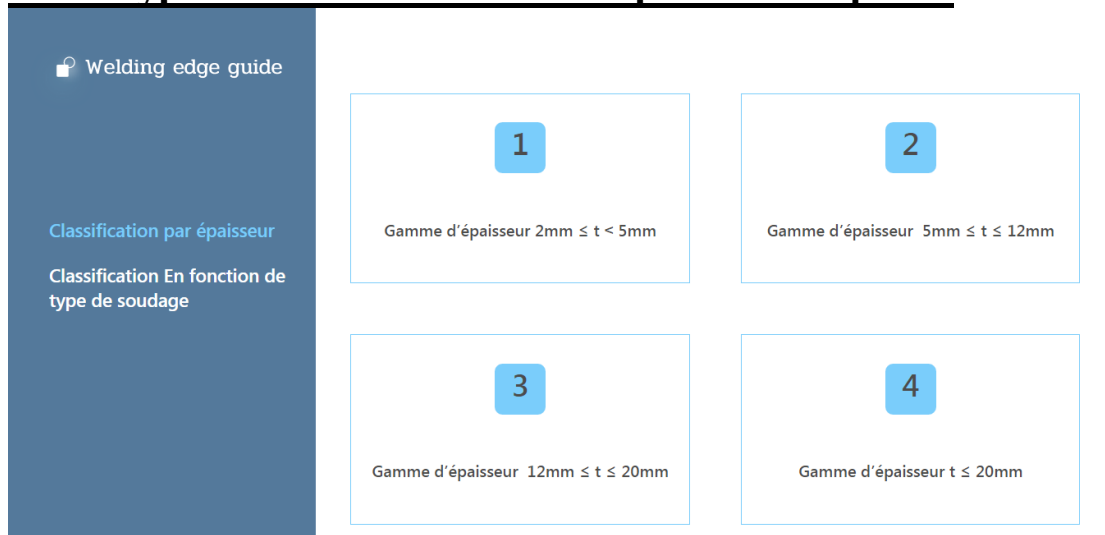


Fig III.29 Page principale d'application

1. Gamme d'épaisseur $2\text{mm} \leq t < 5\text{mm}$

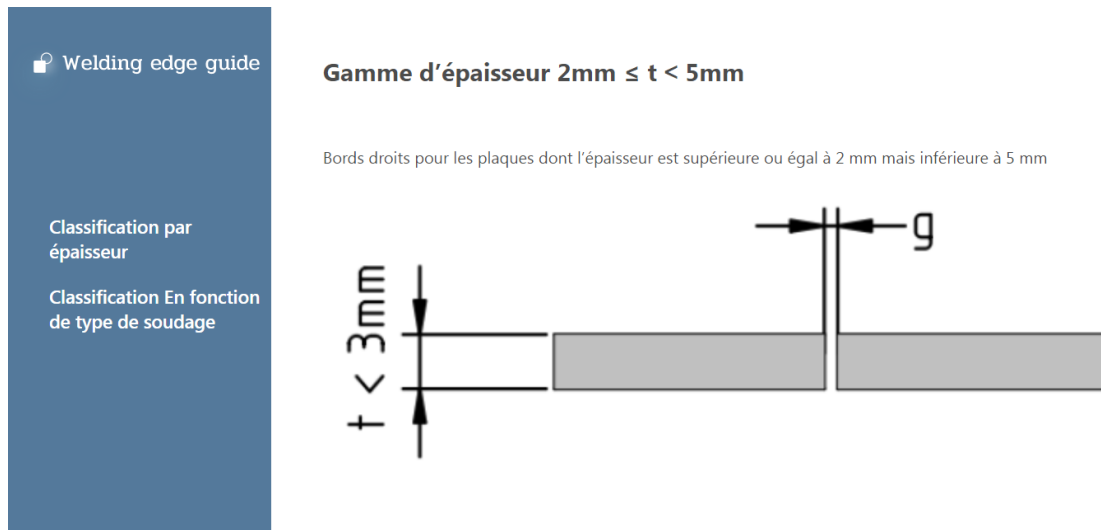


Fig III.30 Classification par épaisseur ($2\text{mm} \leq t < 5\text{mm}$)

2. Gamme d'épaisseur $5\text{mm} \leq t \leq 12\text{mm}$

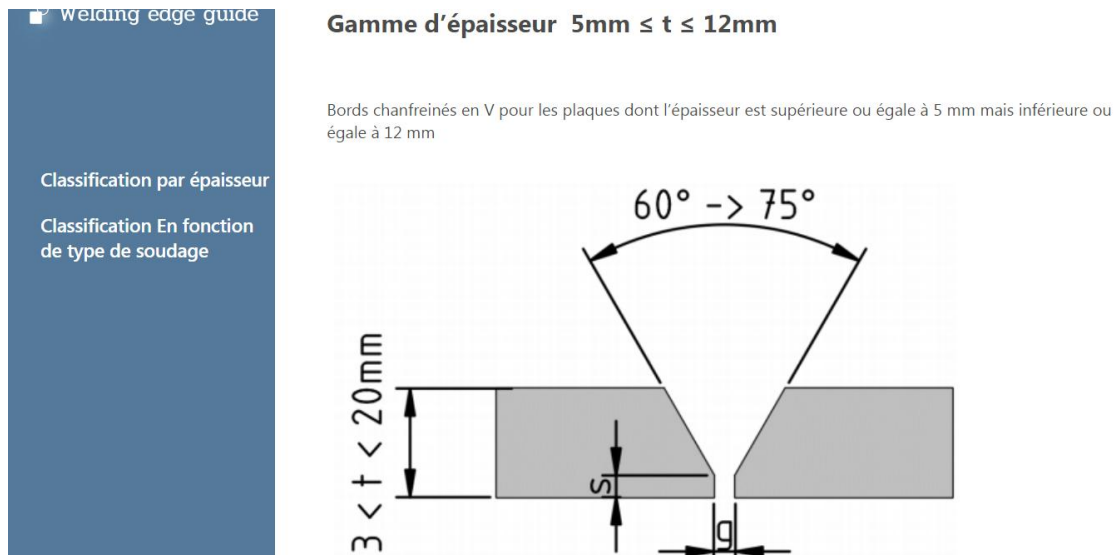


Fig III.31 Classification par épaisseur ($5\text{mm} \leq t < 12\text{mm}$)

3. Gamme d'épaisseur $12\text{mm} \leq t \leq 20\text{mm}$

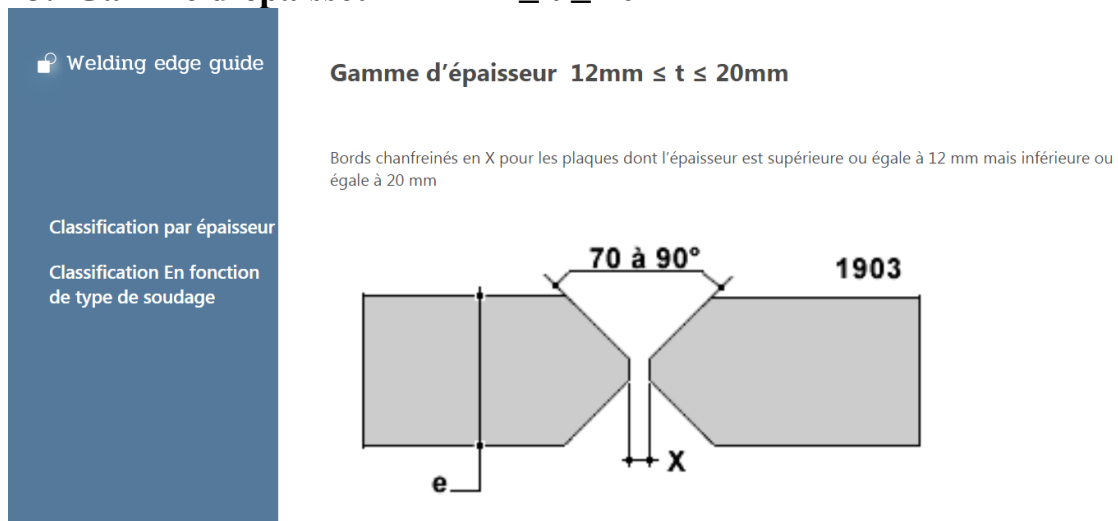


Fig III.32 Classification par épaisseur ($12\text{mm} \leq t < 20\text{mm}$)

4. Gamme d'épaisseur $t \leq 20\text{mm}$

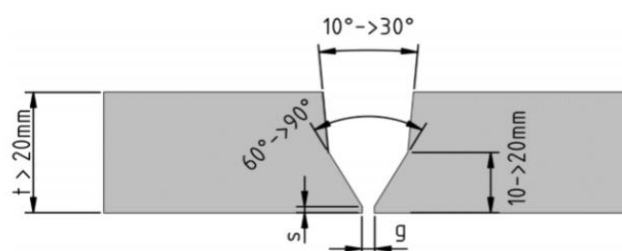
Welding edge guide

Classification par épaisseur

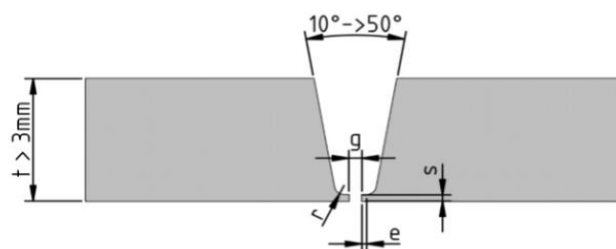
Classification En fonction de type de soudage

Gamme d'épaisseur $t \leq 20\text{mm}$

a - Chanfrein en V doubles pentes (V composés) :



b - Chanfrein en J:



c - J double pente (J Composé):

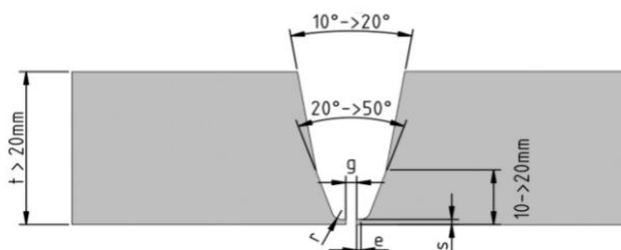


Fig III.34 Classification par épaisseur ($t \leq 20\text{mm}$)

IV.2. Type de bord en fonction de type de procédé de soudage

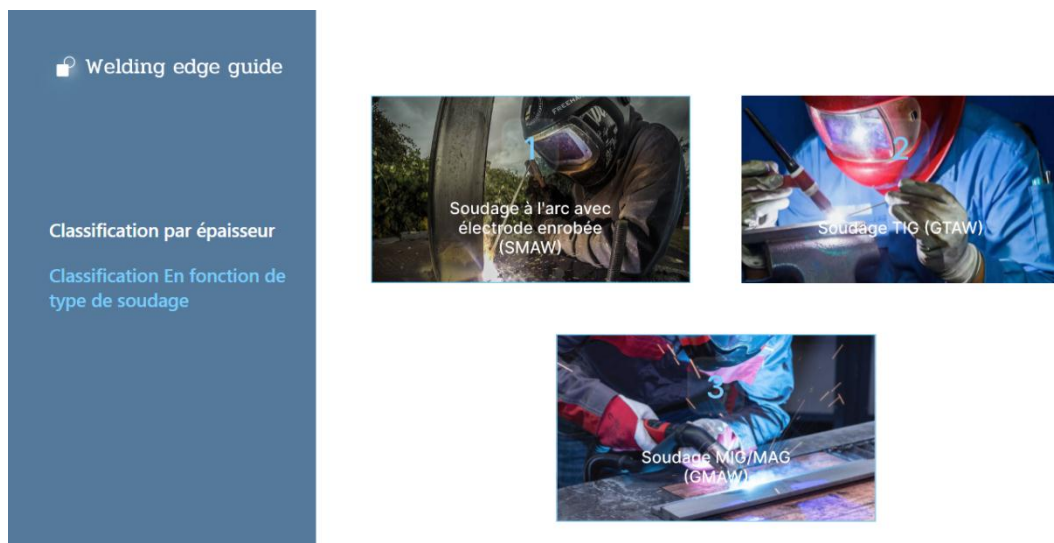


Fig III.35 Page principale d'application

1. Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)

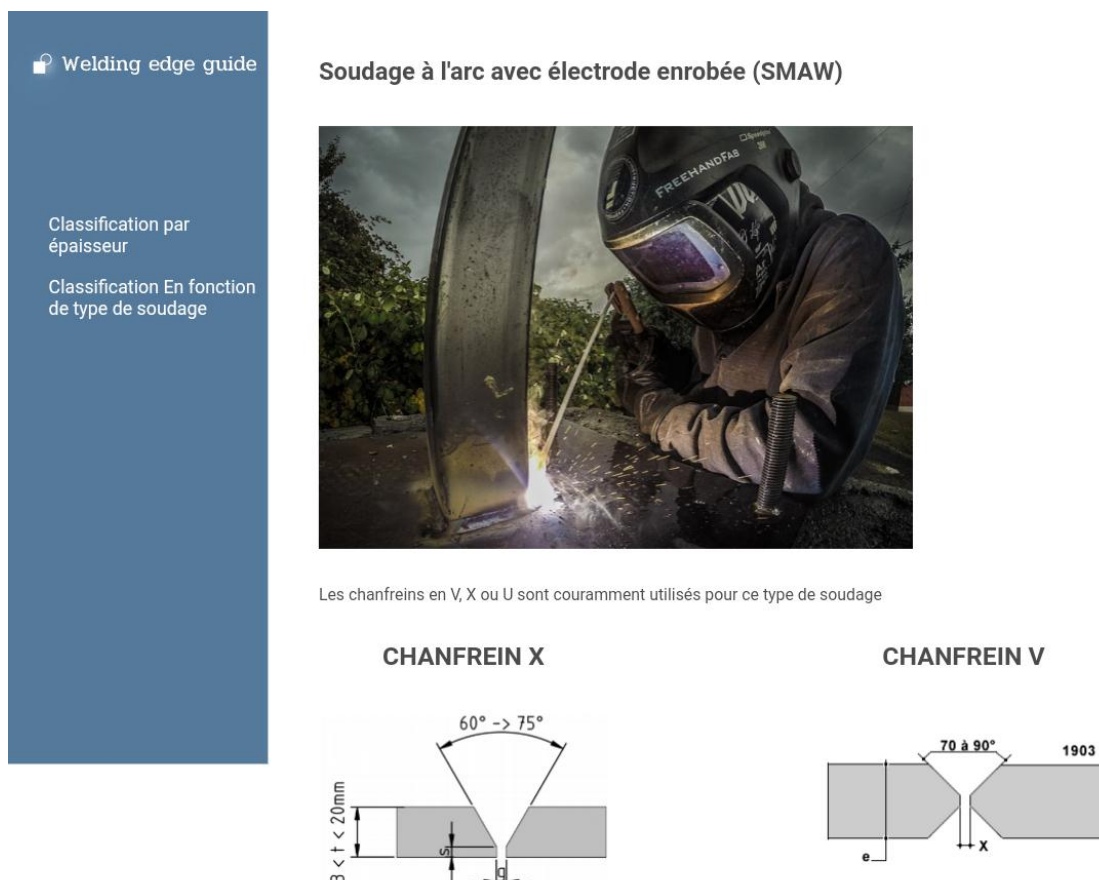


Fig III.36 Classification par type de soudage (Soudage à l'arc)

2. Soudage TIG (GTAW)

Welding edge guide

Classification par épaisseur

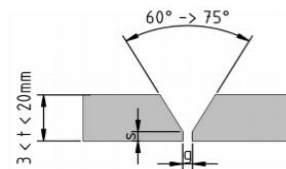
Classification En fonction de type de soudage

Soudage TIG (GTAW)



Un chanfrein en X ou en V peut être approprié pour le soudage TIG.

CHANFREIN X



CHANFREIN V

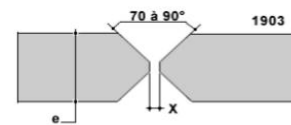


Fig III.37 Classification par type de soudage (Soudage TIG)

3. Soudage MIG/MAG (GMAW)

Welding edge guide

Classification par épaisseur

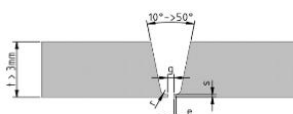
Classification En fonction de type de soudage

Soudage MIG/MAG (GMAW) :



Les chanfreins en J, X sont souvent utilisés pour ce type de soudage

CHANFREIN J



CHANFREIN X

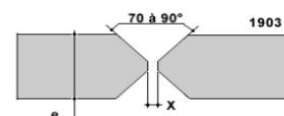


Fig III.38 Classification par type de soudage (Soudage MIG/MAG)

Conclusion de chapitre

En conclusion, l'outil d'aide Welding Edge Guide nous permet de d'explorer les divers types de bords de pièces à souder et leur importance dans le domaine de la soudure. Nous avons constaté que le choix du type de bord de pièces à souder approprié est essentiel pour garantir des soudures de haute qualité, résistantes et durables. Il est crucial de comprendre leur utilisation correcte en fonction des exigences spécifiques de chaque projet.

Conclusion générale

En somme, ce projet de fin d'études a mis en évidence la complexité du processus de sélection du type de bord de pièce à souder, qui dépend de multiples facteurs interdépendants.

Nous avons exploré des différents facteurs qui impactent le choix de type de bords des pièces à souder. Ces facteurs comprennent l'épaisseur de pièce, le type de procédé de soudage, la préparation des surfaces à souder, les matériaux utilisés. Au cours de ce travail on cherche à faciliter la disposition des bords des pièces à souder, donc Nous avons créé un outil simple qui nous aide à classer les bords des pièces à souder selon différents facteurs pour garantir une soudure endurant et rigide. Cette étude offre une base solide pour orienter les professionnels de la soudure dans le choix optimal du type de bord en fonction des besoins spécifiques de chaque projet.

Références bibliographiques

- [1] : Maurice lebrun, «Le chalumeau oxyacétylenique».
- [2]: Article Assemblage de tubes bout à bout PROTEM.fr
- [3] : R.Baus. W, Chaprau, "Application de soudage aux constructions",1979
- [4] : LE SOUDAGE OXYACETYLENIQUE,
<<<https://docplayer.fr/20745807-Lesoudageoxyacetylenique.html>>>, mai 2019
- [5] : LE SOUDAGE, << <https://fr.wikipedia.org/wiki/Soudage#> >>
- [6] : Site internet : www.soudeurs.com
- [7] : < Cours sur le soudage à l'arc électrode enrobée >
<https://www.rocdacier.com/courssoudage-arc-electrode-enrobee/>.
- [8] : "Welding: Principles and Applications" par Larry Jeffus
- [9] : Article "Les différents procédés de soudure" , <https://www.mabeo-direct.com>
- [10] : "Welding: Principles and Practices" par Edward R. Bohnart et David J. Fisher
- [11] : "Gas Metal Arc Welding Handbooke" publié par Miller Electric"Gas Metal Arc Welding Handbook" publié par Miller Electric
- [12] : "Modélisation du procédé de soudage par points",
<https://www.semanticscholar.org>
- [13] : "Welding Metallurgy and Weldability" par John C. Lippold et Damian J. Kotecki

[14] : American Welding Society (AWS) - Site Web officiel :
www.aws.org

[15] : Article "Synthèse sur le gaz de soudage" /rodacier.com