

الجمهورية
الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و
البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر
بلقايد- تلمس

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 : HADDOU Hanane

Sujet

Automatisation du diagnostic des défauts de soudage

Soutenu publiquement, le 23 / 06 /2019, devant le jury composé de :

M/BENACHOUR Mustapha	Professeur	Université de Tlemcen	Président
M/ RAHOU Mohammed	MCA	ESSAT	Encadreur
M/ SEBAA Féthi	MCA	Université de Tlemcen	Co-encadreur
M/ BELKAID Mohamed	MCB	Université de Tlemcen	Examineur 1
M/ CHEIKH Nassima	MCB	Université de Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Avant tout c'est grâce à Dieu que j'ai réalisé mon travail.

Je tiens à remercier mes encadreurs, RAHOU Mohamed MCA à l'ESSAT SEBAA Fethi MCA à l'UABB Tlemcen pour leurs soutiens et leurs disponibilités tout au long de la préparation de mon projet de fin d'étude.

Mes remerciements vont à messieurs BELGAID Houcine , FAKIR Imad du groupe KHERBOUCHE pour le temps précieux qu'ils m'ont consacré, et ses nombreuses interventions qui ont permis l'aboutissement de ce travail.

Je remercie également les membres du jury, devant lequel j'ai l'honneur d'exposer mon travail, et qui ont pris la peine de le lire et de s'y intéresser.

Je remercie aussi tous mes camarades, avec lesquels j'ai eu le plaisir de travailler, ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration et l'achèvement de ce mémoire.

Je remercie enfin mes parents qui m'ont soutenu pendant toute la durée de mes études sans oublier mes deux frères et ma sœur unique.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma mère.

Résumé

Le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, malgré tout ça on trouve plusieurs types de défauts sont observés dans les joint de soudure comme les fissures, cavités, inclusion solide, manque de fusion et de pénétration, défauts de forme ainsi que des défauts divers.

Le but de ce travail est l'étude des défauts qui apparaissent
Pendant et après le soudage avec logiciel visuel basic
Et de trouver les raisons de
Son apparition et comment y faire remédier.

Abstac

Welding occupies an important place in all branches of industry and building, despite all that we find several types of defects are observed in the weld joints such as cracks, cavities, solid inclusion, lack of fusion and penetration, defects shape as well as various defects. The purpose of this work is the study of the defects that appear During and after welding with basic visual software And to find the reasons for Its appearance and how to fix it

ملخص

يحتل اللحام مكانًا مهمًا في جميع فروع الصناعة والمباني ، على الرغم من كل ما نلاحظه يتم ملاحظة عدة أنواع من العيوب في مفاصل اللحام مثل الشقوق والتجويف والإدماج الصلب وعدم وجود الاندماج والاختراق والعيوب شكل وكذلك العيوب المختلفة .
والغرض من هذا العمل هو دراسة العيوب التي تظهر أثناء وبعد اللحام باستخدام البرامج المرئية الأساسية وللعثور على أسباب مظهره وكيفية اصل

Introduction générale

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 réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, 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 de même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

Plusieurs types de défauts sont observés dans un cordon de soudure comme les fissures, cavités, inclusion solide, manque de fusion et de pénétration, défauts de forme ainsi que des défauts divers.

Le but de ce travail est l'automatisation du diagnostic des défauts de soudage.

Afin d'atteindre cet objectif, ce manuscrit est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est une présentation de l'entreprise
- Le deuxième chapitre rassemble des généralités sur les procédés de soudage.
- Le troisième chapitre est réservé aux défauts de soudage.
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation du module développé en Visuel Basic.

Ce travail se termine par une conclusion générale et une perspective.

CHAPITRE I

Présentation de l'entreprise

1.1 Introduction

L'Algérie parmi les pays qui ont reconnu un développement dans le domaine de la construction métallique, il existe des grandes entreprises qui ont déjà profité de ce genre d'activités, on cite :

CONSTRUCT ouest, SPA

Groupe SFMAI, SPA

SADJI IMMO, SARL

BENMERZOUGA METALLIQUE, SARL

Groupe KHERBOUCHE (ou j'ai passé mon stage pratique).

1.2 Présentation du groupe :

Le groupe économique KHERBOUCHE créé en 1976, contient 2000 employés toutes spécialités confondus,

Se compose de 8 filiales (sociétés commerciales pluridisciplinaires). Et parmi ces filiales, Agro-Industrie groupe CHETOUANE ou j'ai réalisé mon projet.



Figure I.1 : Group Kherbouche

1.2.1 INTER ENTREPRISE

Depuis 1976, INTER ENTREPRISE totalise à ce jour 40 ans d'activité, un savoir-faire dans la réalisation des projets en bâtiment, travaux public et hydraulique.

Sa spécialisation dans les travaux hydrauliques, lui a permis de réaliser des projets de grande envergure. Pour mieux répondre aux attentes de ces clients. INTER ENTREPRISE a lancé un processus de certification de son Système de Management Qualité selon la norme ISO 9001 V 2008 qui se sont concrétisé en mois de Décembre 2014.

1.2.2 AGRO INDUSTRIE

Crée en 1985, sous forme de SNC, Agro-Industrie s'est durablement installée dans l'équipement agro industriel à savoir l'ingénierie, la fabrication et la distribution.

Depuis sa création, Agro-Industrie a toujours été la première pour l'introduction de nouveaux procédés en matière de :



Figure I.2 : Agro-industrie

1.2.3 AQUATEC

Créée en 2000 : étude et réalisation d'installations pour traitement d'eaux potable et usée.

Elle intervient principalement dans: le traitement des eaux, la télégestion, les équipements de mesure, le pompage des eaux chargées et agressives de chantier, le forage horizontal, les énergies renouvelables et les Procès & équipements de stockage, dosage, mise en solution de réactifs en poudre et chaulage de boue.

1.2.4 AGRO DEEL

AGRO DEEL a été créé en 1999, pour répondre aux besoins sans cesse grandissants en pompes centrifuges. Aussi bien en agriculture, en industrie que pour les systèmes d'épuration, la pompe centrifuge reste un composant fondamental.

Dès le début, la stratégie adoptée consistait à s'allier à une grande marque disposant d'un Know-how reconnu et partageant avec le Groupe les idées de durabilité et d'économie. C'est ainsi, qu'AGRO DEEL est devenue le représentant exclusif de CAPRARI, pour l'Algérie. Cette relation évolue vers une relation de partenariat.

Après avoir commencé par la distribution directe, AGRO DEEL intervient de plus en plus dans le montage et le service après-vente tout en développant ses capacités d'études et la maîtrise technique de ce composant essentiel, aussi l'objectif final est de garantir, une fiabilité prouvée et une technicité maîtrisée. Cette garantie est justifiée par la mise en place d'un banc d'essai pour tous types de pompes à eau, ce dernier peut tester des pompes fabriquées avec des puissances atteignant les 350 KW. Un produit spécifique et adapté alliant fiabilité et économie de fonctionnement est disponible chez AGRO DEEL dans la marque CAPRARI.

L'acquisition en 2007 par AGRO-DEEL Équipement de l'usine de fabrication de pompes (POVAL) unité de Rouiba a permis la construction au sein de l'unité d'un bloc administrative de 04 niveaux avec RDC et sous-sol.

Ce bloc administratif est destiné à arbitrer l'ensemble des sociétés du groupe activant dans le domaine de l'eau (AGRO DEEL - AGRO INDUSTRIE - CANAL PLAST et AQUATEC Biotechnologie). EL ALF - AAA - INTER ENTREPRISE. Le regroupement de ces entités en un seul endroit va certainement permettre à nos clients d'obtenir une fluidité dans la recherche d'informations.

1.2.5 CANAL PLAST

La création de la société Canalplast, au-delà de la volonté d'intégrer un marché porteur, répond à l'ambition de ses promoteurs de relever les défis de la qualité.

Canalplast est destinée à produire et distribuer les tubes, raccords et accessoires PVC et PE, adaptés pour la réalisation de canalisations aux multiples applications.

L'unité tubes PVC est entrée en production dès le mois de mai 2006 avec des capacités installés de 20 tonnes/j.

L'unité PE est, elle aussi, d'une capacité de 20 tonnes/j. Elle propose à sa clientèle des tubes en haute et basse densité.

1.2.6 HUILE D'OLIVE TLEMCEN

Créé en 1987 situé à l'extrême ouest de la wilaya de Tlemcen, ce complexe se compose de trois ateliers principaux: Huile-100 TONNES/jour.

1.2.7EL ALF

Crée en 1993 : Aliments composés pour animaux (Bovin,Ovin,Volaille,Equin,Lapin)

EL ALF a démarré fin 2003 un complexe intégré de fabrication d'aliments composés pour animaux Bovin, Volaille, Ovin et Équin.

D'une capacité de 100.000 T/an, ce complexe est entièrement automatisé afin de répondre aux normes internationales en matière de qualité et de sécurité alimentaires. Pour ce faire, il est doté d'un laboratoire d'analyse et de contrôle équipé de : Spectrophotomètre d'absorption atomique et d'un infra analyse dernière génération.

CHAPITRE II

Procédés de soudage

2.1 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 réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, 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 de même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

2.2 Procèdes de soudage

La classification des procédés de soudage se fait en considérant certaines caractéristiques

Telles que :

- Le type d'énergie mise en œuvre ;
- Les paramètres physiques (température, pression, milieu extérieur) ;
- Le mode d'élaboration de la continuité de la matière
- La morphologie de la liaison qu'ils permettent de réaliser

Les procédés de soudage de pièces métalliques sont :

- Soudage à la flamme.
- Soudage aluminothermique.
- Soudage électrique par résistance.
- Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées.
- Soudage à l'arc avec électrodes non fusibles.
- Soudage à l'arc avec fil électrodes fusibles ou soudage semi-automatique.
- Soudage laser.
- Soudage plasma.
- Soudage par faisceau d'électrons.
- Soudage par friction.
- Soudage par friction malaxage ou soudage thixotropique.
- Soudage à l'arc sous flux.
- Soudage électro gaz.
- Soudage par diffusion.
- Soudage par explosion.
- Soudage par impulsion magnétique.

2.2.1. Soudage par résistance

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

Au début du XXe siècle, Thomson continua à perfectionner le soudage par points, le soudage par projection et le soudage bout à bout par étincelage. Le soudage par points devint par la suite le procédé le plus répandu. On l'utilise aujourd'hui dans l'industrie automobile et dans bien d'autres applications de soudage de tôles. (La figure II.1) illustre le principe : deux électrodes en cuivre appliquent une pression sur deux plaques en recouvrement et un courant de forte intensité unit les plaques par fusion. Le premier robot de soudage par résistance par points a été livré par Unimation à General Motors en 1964.

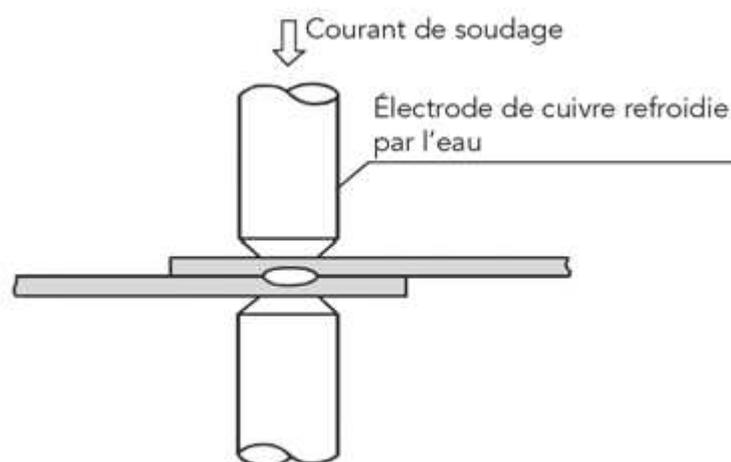


Figure II.1 : Principe du soudage électrique par résistance par points.

2.2.2. Soudage à l'arc

Le soudage à l'arc a d'abord utilisé des électrodes en charbon créées par Bernardos, puis des électrodes en acier. N'étant pas protégée de l'air environnant, la soudure présentait des défauts de qualité. En inventant et en faisant breveter l'électrode enrobée, le Suédois Oskar Kjellberg permit une avancée considérable (figure 4). Le résultat était d'excellente facture et les électrodes enrobées ont donné naissance à la société ESAB.

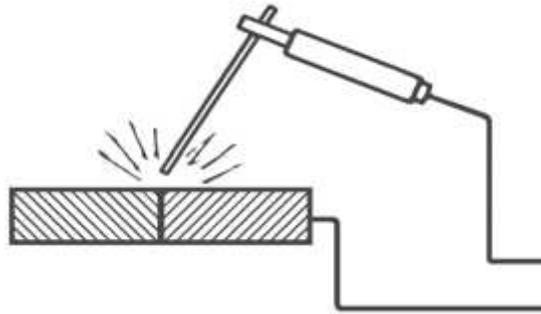


Figure II.2 : Schéma de principe du soudage manuel avec électrode enrobée.

A- Limites du soudage à l'arc avec électrode enrobée

À l'instar des autres procédés de soudage, le soudage à l'arc avec électrode enrobée a ses limites.

- Il ne se prête pas à l'automatisation.
- Il n'est pas utilisé pour souder les métaux et alliages qui possèdent une faible température de fusion, tels que l'étain, le plomb et le zinc.
- Le soudage de métaux et des alliages non ferreux à l'aide de ce procédé donne des résultats inférieurs à ceux obtenus avec d'autres procédés.
- Ce procédé est déconseillé pour souder des tôles dont l'épaisseur est inférieure à 2,5 mm à cause des risques d'effondrement du bain de fusion.

B- Types et positions de joints soudés

Les principaux types de joints soudés sont

les suivants :

- Le joint bout à bout;
- Le joint à recouvrement;
- Le joint à angle extérieur;
- Le joint en T.

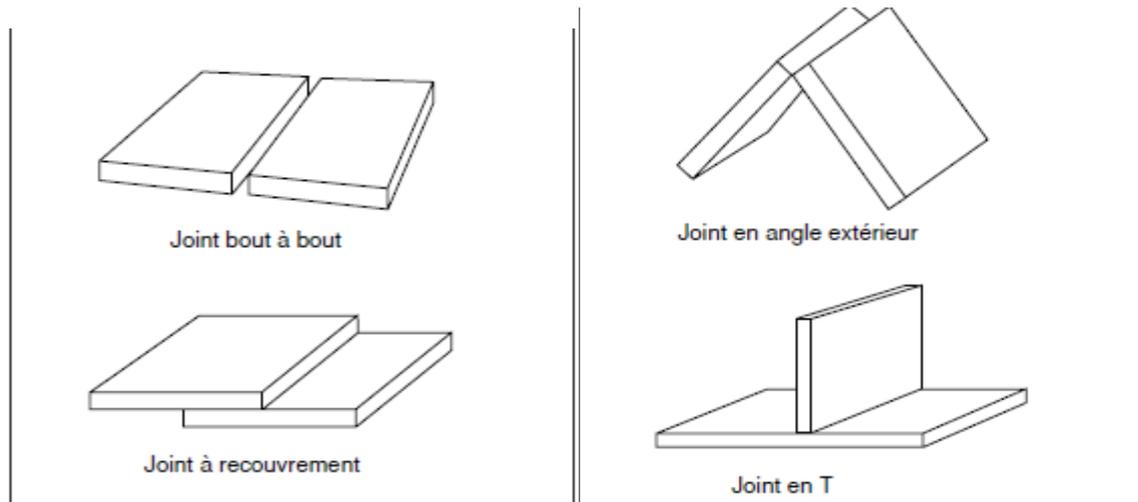
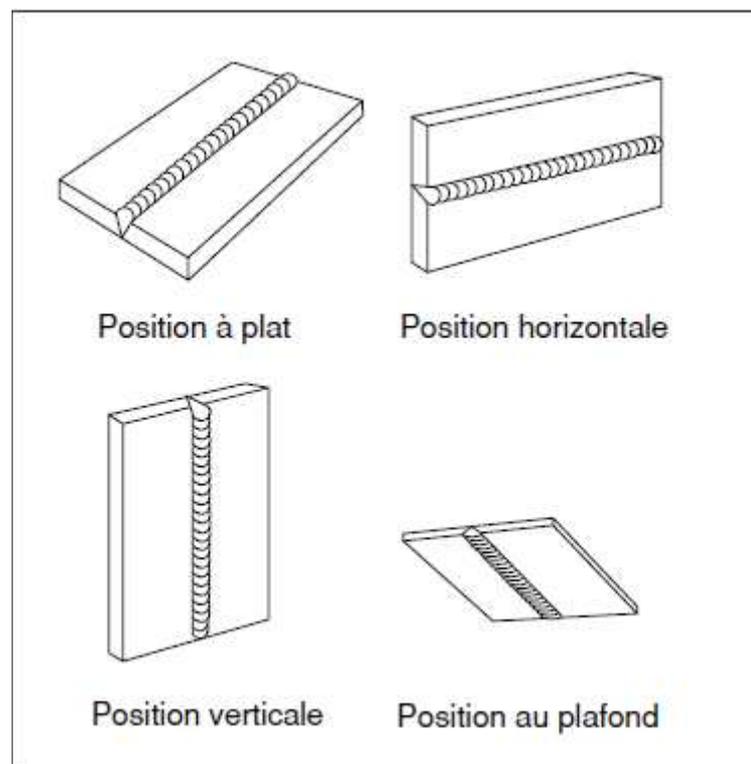


Figure II.3 : Types et positions de joints soudés

Ils peuvent être exécutés dans diverses positions : à plat, horizontale, verticale et au plafond. Ces positions sont représentées à la figure.



FigureII.4 : positions de soudage.

2.2.3. Soudage MIG-MAG

GMAW selon les normes américaines, est un procédé de soudage semi-automatique. La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate dans une atmosphère de protection entre un fil électrode fusible et les pièces à assembler.

Les acronymes MIG et MAG signifient respectivement *Metal inert gas* et *Metal active gas*. La différence entre les deux procédés tient à la composition du gaz. Le procédé MIG utilise un gaz neutre qui ne réagit pas avec le métal fondu (argon ou argon + hélium), contrairement au procédé MAG (mélange d'argon et de dioxyde de carbone ou dioxygène en proportions variables selon les métaux à souder). Le gaz est injecté en continu sur l'arc afin d'isoler complètement le métal en fusion de l'air ambian

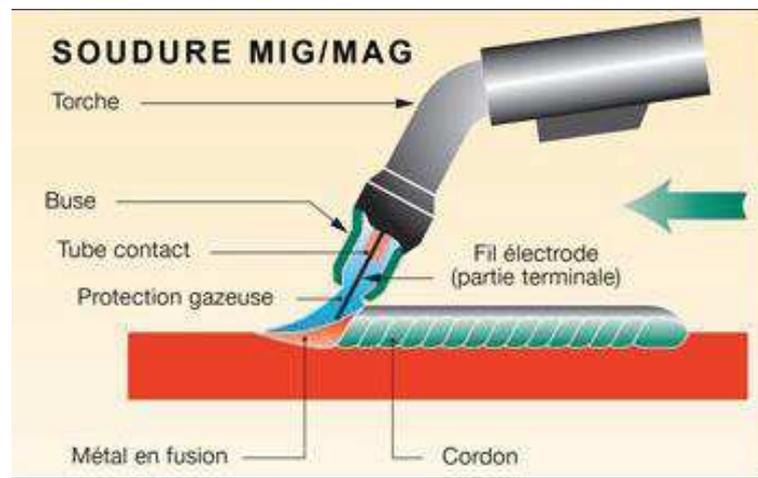


Figure II.5 : Soudage MIG-MAG

A- Description

Le poste à souder MIG-MAG est composé d'un dévidoir de fil à souder et d'un générateur de tension (15 V= à 45 V=)

Lors de l'appui sur la gâchette de la torche à souder, le fil de soudure se déroule et avance à une vitesse programmée à l'avance sur le poste.

Au contact de la pièce à souder reliée à la masse du poste, le fil commence à fondre puis un arc se forme entraînant la fonte du fil d'une part et de la pièce d'autre part. Ce procédé est ensuite répété n fois par seconde, dépendamment des réglages du poste. Dans le cas du MAG, des réglages particuliers (augmentation de la tension, de la vitesse du fil, du recul de l'embout contact, et du changement du mélange gazeux pour plus

d'argon) permettent d'avoir soudure sans contact entre la pièce et l'électrode. Deux procédés fonctionnent sur ce mode: globulaire et pulvérisé. Ils permettent un dépôt de soudure plus important.

La vitesse du fil et la tension du poste doivent être proportionnelles afin que l'arc ne remonte pas le long du fil (trop de puissance) ou que le fil ne vienne pas court-circuiter l'arc (avance trop rapide).

Cette proportionnalité est liée à la métallurgie des nuances ou des alliages en présence.

Certains postes sont dits *synergiques* car une fois l'un des paramètres réglé, le poste adapte l'intensité à la vitesse ceci afin de garder une énergie de soudage constante. L'usage de la SELF permet de régler l'intensité.

Le soudage MIG-MAG se prête bien à l'automatisation totale au travers d'installation robotique. Il permet une grande flexibilité de mise en œuvre :

- Soudage de différents matériaux : aciers C-Mn, aciers inoxydables, alliages d'aluminium, alliages de titane...
- Soudage en position : Toutes positions, en angle : FW PA et PB (à plat), FW PC (corniche), FW PD (plafond) et en bout a bout : BW PA, BW PC, BW PE
- Utilisations de fils fourrés de 0,6 à 2,4 mm de diamètre
- Soudage manuel semi-automatique
- Automatisation sur poutre, robotisation plus ou moins poussée : du robot standard, à la robotique « intelligente » : suivi de joint auto adaptatif

Des variantes du procédé permettent :

- l'amélioration de la productivité : MAG bi-fil, MAG fort diamètre, utilisation de fils fourrés augmentant le taux de dépôt
- l'augmentation de l'étendue d'application du procédé vis-à-vis du soudage des tôles fines par réduction de l'énergie de soudage : procédés « froids » dérivés du MIG-MAG : *Cold metal transfer* (CMT de Fronius), *Cold Process* (Quinto CP de Cloos), *Citowave* (Air liquide Welding), *Cold Arc* (EWM)...

B- À base de fer

- Enrobage au cuivre : le cuivre diminue la résistance électrique du fer
- Fil au silicium (0,3 à 1,2 %) ou au manganèse (0,9 à 1,3 %) : désoxydant pour le CO₂ ou l'O₂. Plus les proportions de silicium ou manganèse sont importantes, plus le fil aura des facilités à adhérer à des surfaces rouillées ou sales.

- Fil au manganèse, aluminium, titane, zirconium, nickel, chrome, molybdène : améliorent la résistance à la corrosion ou les propriétés mécaniques.

C- À base d'aluminium

Certains alliages comme le 7075-T6 ne se soudent pas.

Normes

- Acier :
 - EN 440 : fils électrodes pour soudage des aciers non alliés (= AWS A5.28-96)
 - EN 12070 : fils nus massifs et baguettes déposant un acier résistant au fluage. Classification (=AWS A5.28-96)
 - EN 12534 : fils nus massifs et baguettes, acier à haute résistance. Classification
- Inox :
 - EN 12072 : fils nus massifs et baguettes déposant un acier inox et/ou réfractaire (AWS A5.9-93)
- Fourrés :
 - EN 758 : fils fourrés pour soudage avec ou sans gaz pour aciers non alliés et à grains fins. Classification
 - EN 12071 : pour aciers résistant au fluage (avec gaz)
 - EN 12073 : pour aciers inox et aciers résistant aux températures élevées
 - EN 12535 : pour aciers à haute résistance. Classification

D- Gaz

L'atmosphère de protection diffère selon le type utilisé MIG ou MAG :

Pour le MIG, les soudeurs utilisent de l'hélium, de l'argon ou un mélange des deux :

- Hélium : arc plus chaud, adapté au soudage des pièces épaisses³ ;
- Argon : bonne pénétration et arc concentré³.

Pour le MAG, les soudeurs utilisent un mélange d'argon et de dioxyde de carbone (en général du C-25 : 75 % d'argon et 25 % de CO₂). On ne peut souder que des aciers avec ce type de protection active :

- Le CO₂ se décompose en monoxyde de carbone et en ozone sous l'effet de l'arc. L'ozone peut oxyder le métal. Le soudage est rapide, avec une bonne pénétration, mais il convient d'utiliser un fil

désoxydant³. Le transfert du métal se fait par gouttes. Lorsqu'une goutte tombe, elle crée un court-circuit : la tension chute et l'intensité augmente. Une fois la goutte tombée, on a un pic de tension et une chute d'intensité. Les générateurs à impulsions s'inspirent de ce phénomène pour contrôler le transfert du métal.

- Dioxygène : agit comme le CO₂.

2.2.4. Soudage TIG

est un procédé de soudage à l'arc avec une électrode non fusible, en présence d'un métal d'apport si besoin. TIG est un acronyme de *Tungsten Inert Gas*, où *Tungsten* (Tungstène) désigne l'électrode et *Inert Gas* (Gaz inerte) le type de gaz plasmagène utilisé. L'arc électrique se crée entre l'électrode et la pièce à souder qui est protégée par un gaz ou un mélange de gaz rares tels que l'argon et l'hélium. De fait, l'arc électrique remplace la flamme du chalumeau traditionnel. La soudure à l'arc s'appuie sur l'élévation de la température des pièces à assembler jusqu'au point de fusion grâce au passage d'un courant électrique alternatif ou continu¹.

Le soudage s'effectue le plus souvent en polarité directe (pôle - du générateur relié à l'électrode) pour les métaux et alliages (aciers, inox, cuivreux, titane, nickel...) sauf dans le cas des alliages légers d'aluminium ou du magnésium, où l'on soude en polarité alternée. Il n'est pas possible de souder en polarité inverse (pôle + relié à l'électrode) car cela détruirait cette électrode en la faisant fondre.

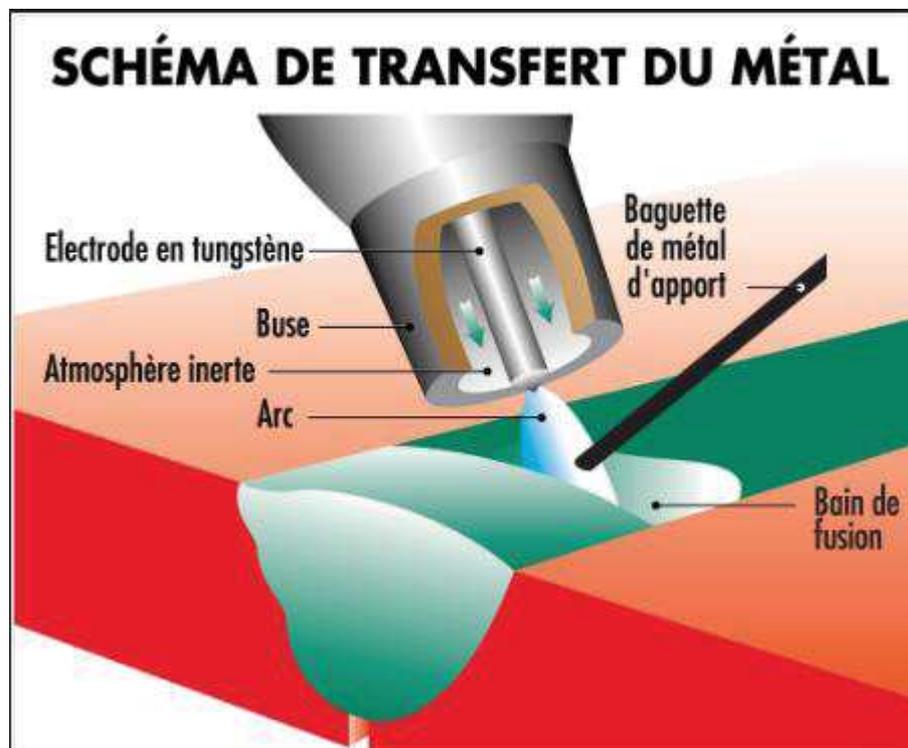


Figure II.6 : Soudage TIG***A- Domaine d'application***

La soudure TIG est une soudure de qualité, avec la possibilité de souder les faibles épaisseurs, un arc stable. Elle nécessite une dextérité particulière du soudeur².

Les domaines d'application les plus courants sont :

- L'aéronautique
- L'automobile
- La tuyauterie industrielle
- L'agro-alimentaire

B- Electrode utilisé

Les électrodes employées sont majoritairement constituées de tungstène (W) à plus de 99 % en masse auquel on ajoute des oxydes métalliques pour augmenter l'émissivité électronique de l'électrode et donc le rendement. Ces oxydes sont ceux du thorium (ThO₂), du cérium (CeO₂), du lanthane (La₂O₃), du zirconium (ZrO₂) ou d'yttrium (Y₂O₃) finement dispersés dans la phase W. Pour le soudage de l'aluminium, on trouve également des électrodes en tungstène pur.

Étant donné la radioactivité naturelle du thorium, il est probable que, dans le futur, celui-ci disparaîtra du marché en Europe Occidentale. Une électrode de tungstène à 2 % de ThO₂ a une activité de $1,3 \cdot 10^6$ Bq/kg, une électrode avec 2 % de CeO₂ descend à 56 Bq/kg. D'ores et déjà, certaines législations (Belgique, Pays-Bas, ...) requièrent de traiter les restes d'électrodes et la poussière d'affûtage comme des déchets légèrement radioactifs.

La couleur de l'anneau ceignant l'électrode renseigne sur la quantité et la nature d'élément d'addition présent suivant la norme ISO 6848. Un code alphanumérique indique aussi la teneur en oxyde. Par exemple, WTh20 désigne une électrode de W avec 2 % de ThO₂. Le diamètre d'électrode est compris entre 0,25 et 10,0 mm (0,25 - 0,30 - 0,50 - 1,0 - 1,6 - 2,0 - 2,4 - 2,5 - 3,2 - 4,0 - 4,8 - 5,0 - 6,0 - 6,4 - 8,0 - 10,0). Les longueurs courantes sont 50 - 75 - 150 - 175 - 300 - 450 - 600 mm.

Pour éviter une usure trop rapide des électrodes lors de l'affûtage manuel, la plupart des fournisseurs de matériel de soudage vendent aussi de petites meules transportables qui garantissent un angle constant avec

le minimum de perte de matière. Les électrodes sont affûtées de sorte que les stries d'affûtage soient orientées de la pièce vers l'électrode.

C- Gaz

Dans la majorité des cas le gaz employé est de l'argon (utilisé en UE). Ce gaz neutre permet d'éviter l'oxydation instantanée lors de la fusion du métal soudé. Il est aussi influent sur la création de l'arc à l'amorçage (plus facile sous argon car sa tension d'ionisation est plus faible que celle de l'hélium), la forme du cordon, la vitesse de soudage (les vitesses élevées sont plutôt réservées aux mélanges majoritaires en hélium). Cependant, aux États-Unis les gisements d'hélium étant plus abondant ce gaz est donc plus utilisé. Bien qu'il rende l'amorçage plus difficile l'hélium élève la tension d'arc et par conséquent permet une pénétration et une vitesse de soudage plus importante. Pour les aciers inoxydables austénitiques, l'utilisation de mélanges binaires argon + hydrogène améliore la productivité en augmentant la pénétration et les vitesses de soudage.

D- Le métal d'apport

Le métal d'apport est constitué d'une tige de diamètre variable dont la composition se rapproche du métal que l'on soude. Comme son nom l'indique, ce métal fusionne avec l'arc et constitue un ajout de matière lors de la formation du cordon de soudure. Les métaux d'apport les plus utilisés sont :

- ER5356 ou S Al 5356 pour l'aluminium
- ER316L ou W 19 12 3 L pour les aciers inoxydables austénitiques
- ER70S-3 ou W 42 5 W3Si1 pour les aciers aux carbones courants
- TA6V pour le titane

E- Défauts rencontrés

- Inclusions de tungstène liées à la dextérité du soudeur
- Porosités (manque de protection gazeuse)
- Collages et manques de pénétration
- Excès de pénétrations
- Oxydation si mauvaise protection gazeuse, notamment à l'envers des soudures à pleine pénétration ("rochage")
- Morsures (caniveaux localisés)
- Caniveaux (puissance de soudage trop élevée par rapport à l'épaisseur de la pièce à souder)

- Concavité ou convexité (manque de matière fondue ou excès de matière fondue)
- Défaut angulaire
- Défaut d'alignement

2.2.5. Soudage par points

C'est un soudage par pression avec transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique par effet Joule, puisque le métal présente une résistance lorsqu'il est parcouru par un courant électrique de forte intensité, qui crée un noyau fondu au niveau de l'interface tôle-tôle. En refroidissant, ce noyau fixe localement les deux tôles entre elles.

Le premier transformateur de soudage a été inventé aux USA en 1886 par E. Thomson. Le premier robot de soudage par points a été livré par Unimation à Général Motors Co en 1964.

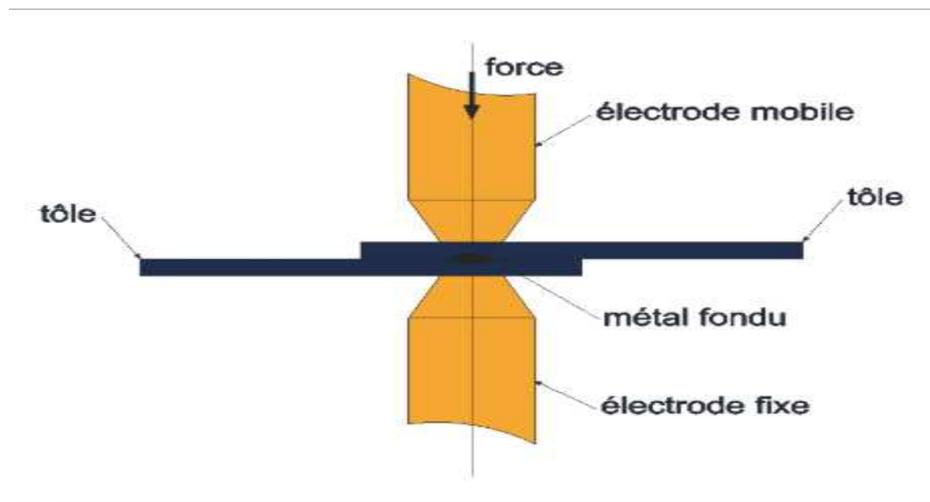


Figure II.7 : Soudage par points.

A- paramètres

Le soudage par points crée des assemblages forts en exerçant une pression élevée sur une surface relativement restreinte et en générant des énergies sous forme de courant électrique. Les paramètres les plus importants lors du soudage par points sont les suivants :

- Courant
- Résistance
- Chaleur

- Pression

Lors du soudage par points les deux électrodes de soudage pressent les pièces l'une contre l'autre. Ensuite, le courant de soudage est activé. La résistance de contact entraîne un réchauffement thermoélectrique : une fusion est générée.

Ensuite, le courant est désactivé. Le matériau liquide se solidifie, on obtient un assemblage indissoluble. Il faut maintenir la pression lors du refroidissement de la masse fondue afin d'éviter la formation de pores.

B- Avantages

Cycles plus rapides

Production plus rentable

Assemblage de matériaux les plus divers

2.2.6. Soudage par friction

Le soudage par friction est un procédé de soudage multiple et novateur qui trouve de nombreuses applications dans différentes branches de l'industrie. Les avantages du soudage par friction sont des assemblages de haute qualité, la rapidité du procédé par rapport aux procédés de soudage conventionnels et la possibilité d'une automatisation complète du processus de telle sorte qu'une qualité constante est garantie. Aussi pour ce procédé, nous avons une machine disponible

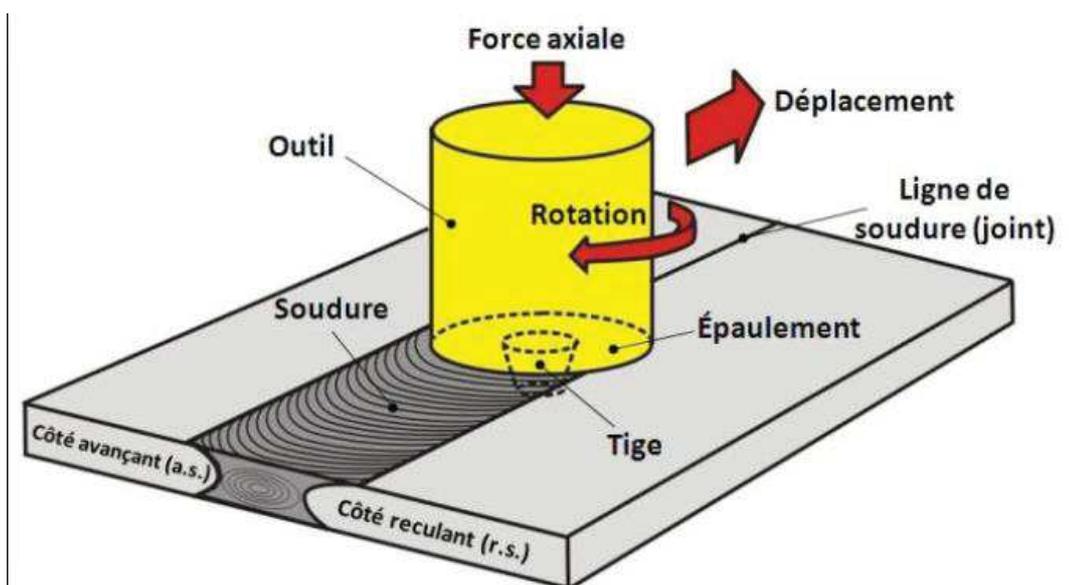


Figure II.8 : Soudage par friction

A- Applications

Le procédé de soudage par friction a fait ses preuves et a été approuvé pour unir l'aluminium à d'autres métaux. La technologie FSW d'ESAB est utilisée depuis 1996 dans un large éventail d'applications industrielles :

- Aérospatial
- Industrie automobile
- Chemin de fer
- Transport
- Applications marines
- Transfert thermique
- Nucléaire

B- Avantages du soudage par friction

Assemblages de haute qualité ayant une bonne structure métallurgique comme le matériau n'est pas porté à fusion.

Pas de préparation spéciale des pièces.

Le procédé de soudage est beaucoup plus rapide que les procédés de soudage conventionnels.

Peu de déformations après soudage en raison des temps de soudage courts et des faibles températures maximales.

Possibilité d'assembler des pièces de sections fortement différentes à condition de prendre certaines mesures de précaution.

Economique : le soudage par friction permet de réaliser d'intéressantes économies sur le coût des pièces soudées (économie en temps, en matériau).

Des matériaux dissemblables peuvent être assemblés, comme l'aluminium ou le cuivre à de l'acier.

Très bonne reproductibilité et possibilités d'automatisation.

Métaux d'apport pas nécessaires

Soucieux de l'environnement : pas de gaz de protection, pas de fumées de soudage ou rayonnement.

Moins de bruit : les soudures ne doivent pas être meulées

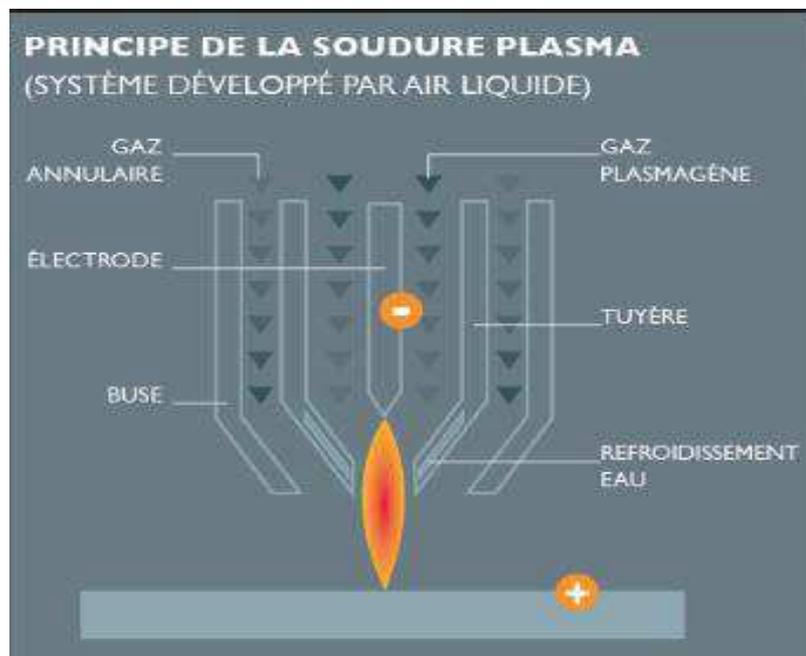
Pas de nécessité de soudeurs agréés.

2.2.7. Plasma

Un arc électrique éclate entre le métal d'apport constitué d'un fil fourré qui se dévide mécaniquement et la pièce à souder. Ce procédé s'apparente au soudage TIG.

Sachons que le plasma désigne le quatrième état de la matière, après les états solides, liquides et gazeux. Il s'agit donc d'un état gazeux mais entièrement ionisé donc électriquement neutre et excellent conducteur de l'électricité, c'est-à-dire de résistance électriquement neutre. Le plasma crée un champ électromagnétique qui se manifeste par un effet de striction (contraction) tendant à regrouper les particules ionisées, donc les plus chaudes, dans l'axe de la colonne d'arc. Si le gaz est forcé dans un orifice de faible diamètre produisant l'étranglement du jet, la température du filet central est forcément accrue, l'effet précédent est intensifié et la veine plasma occupe alors 30 à 40% de la section de la tuyère, peut approcher les 20000 °K à cet endroit, d'où la possibilité de fondre les métaux les plus réfractaires.

La conductibilité électrique étant fonction croissante de l'ionisation, la surface du jet reste à plus basse température et fait office d'écran thermique en maintenant la chaleur au centre. Une augmentation de l'intensité du courant électrique accroît la section entièrement ionisée, le plasma étant conducteur s'échauffe par « Effet Joule », il se forme un arc parasite à l'entrée de la tuyère



FigureII.9 : Plasma

A- Défauts de soudage plasma**1ère soudure du schéma**

Soudure affaissée pénétration trop importante

Intensité de courant trop forte ou vitesse de soudage trop lente

2ème soudure du schéma

Soudure trop étroite, irrégulière, faible pénétration

Intensité de courant trop faible ou trop faible

quantité de gaz plasmagène, ou vitesse de gaz trop faible

3ème soudure du schéma

Forme des bords irréguliers

Trop grande quantité de gaz plasmagène

4ème soudure du schéma

Bonnes dimensions du joint

Ondulations d'égale largeur, bonne pénétration

Intensité de courant correcte

Bon mouvement de la torche

Tension d'arc bien adaptée et bon débit de gaz

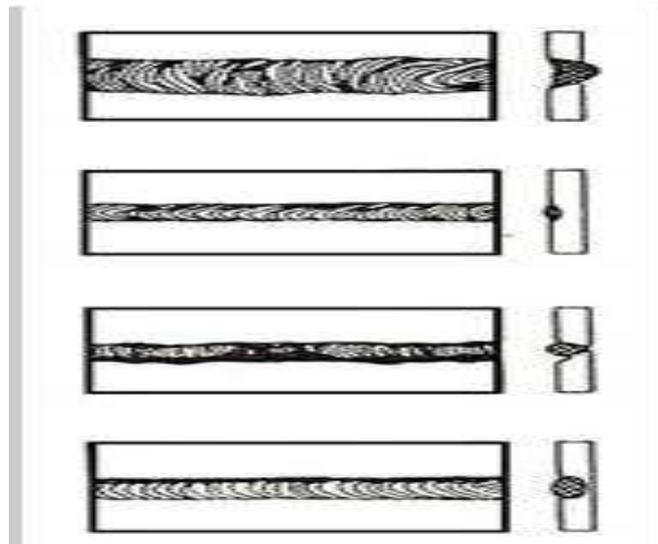


Figure II.10 :Défauts de soudage plasma.

A- Avantages

– Sous protection gazeuse

- Meilleures qualité de soudure (aspect visuel)
- Vitesse de soudage élevée
- Pénétration plus profonde
- Temps de nettoyage réduit
- Valeur de résilience plus élevée
- Rendement légèrement supérieur

– Avec fil auto protégé

- Moins sensible aux effets des courants d'air
- Nécessite moins d'équipement
- Peut utiliser le même équipement qu'en SMAW s'il est muni d'un dévidoir à vitesse variable et asservi à la tension de soudage

B- Inconvénients

- Equipements très coûteux
- Précision de l'accostage des bords essentielle
- Mise en œuvre manuelle difficile.

2.2.8. Soudage laser

Le soudage laser est une technique de soudage utilisée pour souder différentes pièces de métaux à l'aide d'un laser. Un laser produit un faisceau de lumière d'intensité élevée, axé sur un point isolé pour fournir une source de chaleur concentrée et produire des soudures étroites et profondes et des vitesses de soudage élevées.

Le procédé est fréquemment utilisé pour les applications à volume élevé, telles que le secteur de la fabrication de batterie ou le secteur médical.



Figure II.11 : Soudage laser.

A- Applications de soudage laser

On utilise généralement le soudage laser dans la fabrication de capteurs, de composants radar, de boîtiers de batteries, de conducteurs pour cellules de film fins, de boîtiers de stimulateurs cardiaques et de pompes à insuline.

B- Avantages du soudage laser

- Sans contact et faible apport de chaleur
- Déformation minimale de la pièce
- Pas d'outils
- Dommage métallurgique minimal
- Processus très stables
- Très rapides
- Facile à intégrer dans l'équipement de production
- Faible coût par soudure pour les applications à volume élevé.

2.2.9. soudure par ultrason

A- Principe de la soudure par ultrason

L'appellation de soudage s'applique dès lors que deux pièces sont réunies de façon à ce que la continuité de la matière entre les deux éléments soit telle qu'au niveau atomique ces deux pièces n'en forment qu'une seule.

Pour cela, la **soudure par ultrason** qui s'applique uniquement aux matières plastiques et polymères plastiques requiert une dilution de matières sur les lèvres des pièces à souder.

Le soudage nécessite d'abord une fusion des extrémités des pièces à réunir avant de les assembler en un seul ensemble cohérent.

- Cette fusion de la matière est assurée ici par l'émission d'ultrasons qui excitent les molécules à l'intérieur du matériau.
- Cette excitation moléculaire crée un échauffement interne comparable aux micro-ondes du four familial.

Comparable dans l'esprit à la soudure par résistance, la soudure par ultrason utilise :

- un transducteur électromagnétique ou émetteur qui va générer les ultrasons,
- une sonotrode pour transmettre les ultrasons aux pièces à souder,

- une presse pour maintenir en pression les pièces à souder.

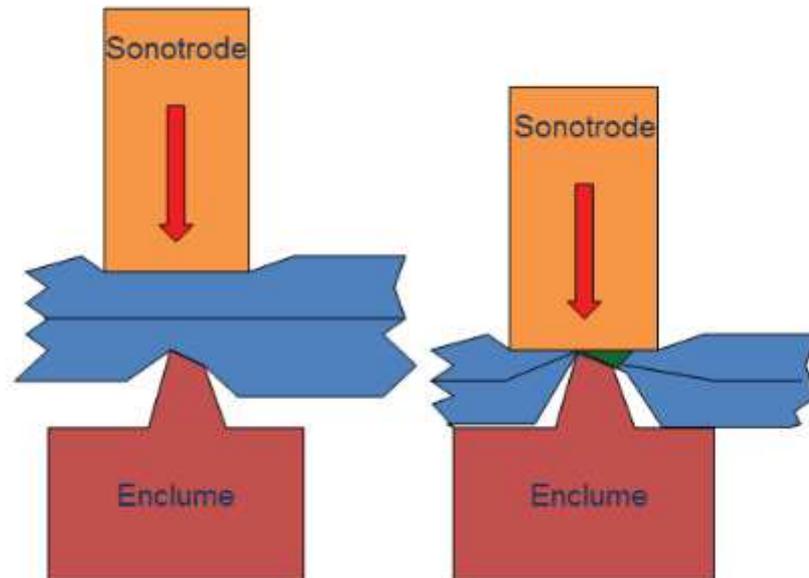


Figure II.12 : soudure par ultrason.

C- Matériaux pouvant être soudés à froid

Uniquement les plastiques ou polymères-plastiques peuvent être soudés par ultrason. La pression et la longueur d'onde sonore devront être étudiées en fonction de chaque matériau.

L'avantage de la soudure à ultrason est de ne pas causer d'échauffement périphérique de la matière sur une pièce généralement fusible (empêchant un soudage à la flamme) et non-conductrice d'électricité (interdisant la soudure à l'arc électrique ou la soudure par résistance).

D- L'appareil de soudure par ultrason

La machine de soudure par ultrason est forcément une machine d'atelier capable d'embrancher le générateur d'ultrason, la presse et l'animation de la sonotrode.

Le principe de la machine de soudure par ultrason :

- Présentation et alignement des pièces à souder (verte et bleue).
- Descente de la sonotrode et mise en pression des deux pièces.
- Émission brève d'ultrason échauffant la matière au point de fusion.
- Maintien de la pression pendant bref refroidissement.
- Libération de la pièce assemblée

2.2.10. Soudage par explosion

Le soudage par explosion (EXW) est un procédé à l'état solide (en phase solide) où le soudage est réalisé en accélérant l'un des composants à une vitesse extrêmement élevée grâce à l'utilisation d'explosifs chimiques. Ce procédé est le plus couramment utilisé pour plaquer une plaque d'acier au carbone avec une fine couche de matériau résistant à la corrosion (par exemple, acier inoxydable, alliage de nickel, titane ou zirconium). En raison de la nature de ce processus, les géométries productibles sont très limitées. Les géométries typiques produites comprennent les plaques, les tubes et les plaques tubulaires.

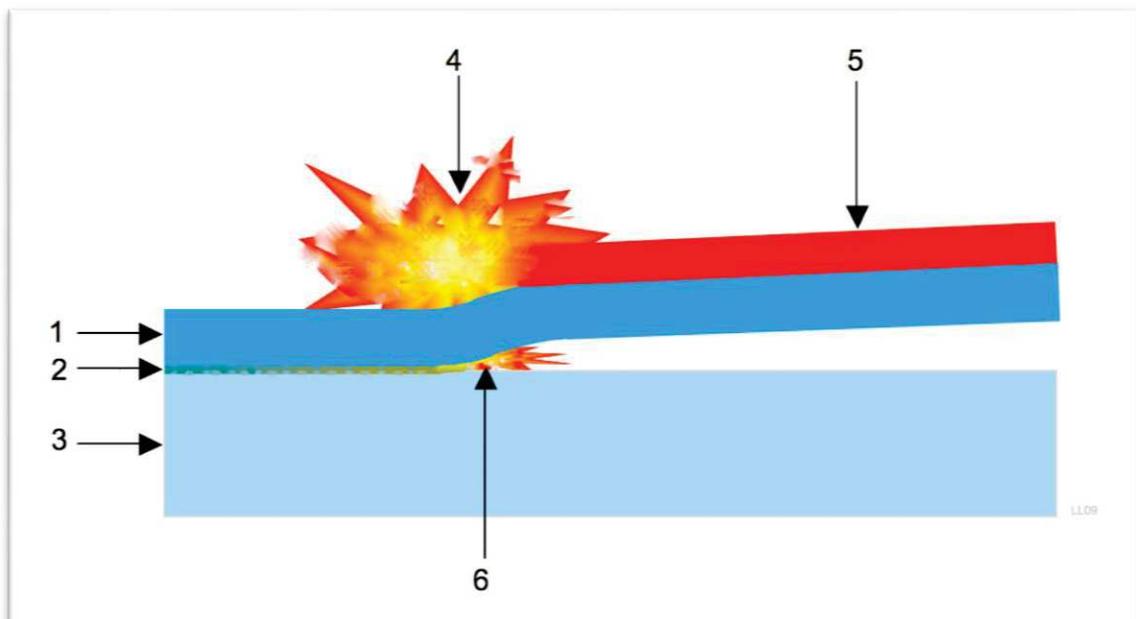


Figure II.13 : Soudage par explosion.

1-Métal d'apport.

2-Zone resolidifiée (doit être minimisée pour le soudage de matériaux dissemblables).

3-Métal de base.

4-Explosions.

5-Poudre explosive.

6-jets de plasma

A- Application

La soudure explosive est utilisée dans de nombreuses organisations et industries différentes, parmi les applications importantes du procédé de soudage à l'explosif :

- Utilisé pour souder de grandes feuilles d'aluminium à l'acier inoxydable.
- Il est employé pour souder le composant cylindrique comme le tuyau, le cylindre concentrique, le tube etc.
- Soudez la tôle revêtue d'acier dans un échangeur de chaleur.
- Rejoindre des métaux dissemblables qui ne peuvent pas être soudés par d'autres procédés de soudage.
- Pour joindre le ventilateur de refroidissement etc.

B- Avantage

- Il peut joindre à la fois des documents similaires et dissemblables.
- Simple dans l'opération et la manipulation.
- Grande surface peut être soudée en un seul passage.
- Taux de liaison élevé du métal. Généralement le temps est utilisé dans la préparation de la soudure.
- Cela n'affecte pas les propriétés du matériau de soudage.
- C'est un processus à l'état solide qui n'implique aucun matériau de remplissage, flux.

C- Inconvénient

- Il peut souder seulement le métal ductile avec la ténacité élevée.
- Il crée un grand bruit qui produit du bruit Pollution.

- Le soudage dépend fortement des paramètres du processus.
- Précautions de sécurité plus élevées en raison d'explosifs.
- Les conceptions des joints sont limitées.

2.2.11. Impulsion magnétique

A- Introduction

La Technologie par Impulsion Magnétique (TIM) est un procédé innovant pour mettre en mouvement des pièces à haute vitesse qui permet de faire de la déformation et de l'assemblage. Ce procédé actuellement en plein développement est basé sur l'utilisation de forces électromagnétiques. Il est destiné à assembler, souder, former et découper des pièces métalliques. Il s'agit d'un procédé automatique qui peut être utilisé, par exemple, pour l'assemblage de produits plats ou tubulaires dans une configuration à recouvrement.

B- Principe

Le principe de base est schématisé à la figure mentionné ci-dessous. Une bobine est placée au-dessus des pièces à souder mais sans être en contact avec celles-ci. Durant le cycle de soudage une très grande quantité d'énergie électrique est libérée en un laps de temps très court.

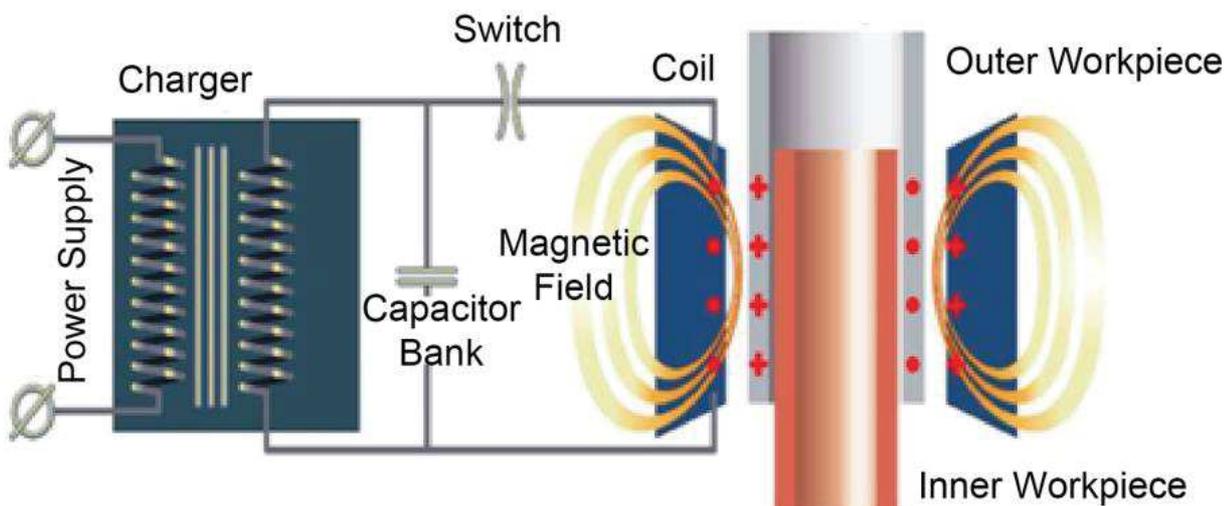


Figure II.14 : Impulsion magnétique.

Le flux élevé d'énergie traverse la bobine et cette décharge de courant induit des courants de Foucault dans la pièce externe. Ces deux courants créent un champ magnétique. La répulsion entre les deux champs magnétiques développe une force qui donne une très grande accélération à la pièce externe en direction de la pièce interne. Une telle force pousse les atomes des matériaux les uns contre les autres de telle sorte qu'on obtient un assemblage métallique.

Le procédé de soudage par impulsion magnétique est un procédé de soudage "froid". Les matériaux n'atteignent pas plus de 30 °C. Il n'y a donc pas de zone affectée thermiquement et le matériau ne perd pas ses propriétés. Ceci signifie qu'après soudage, les pièces peuvent être immédiatement débloquées et mises en œuvre.

Le procédé de soudage par impulsion magnétique est un procédé de soudage "solide state" ce qui signifie que le métal n'est pas mis en fusion durant le cycle de soudage.

Le procédé utilise la pression et non la chaleur de sorte que tous les problèmes conventionnels de soudage dus au cycle de chaleur et à la perte des propriétés du matériau sont évités.

C- Avantages de la soudure par TIM

Dans le cas d'une exécution correcte, la soudure est plus résistante que le métal de base le plus faible: lors d'un essai, la rupture se fait toujours en dehors de la zone de la soudure.

Les gaz de protection, métaux d'apport ou autres accessoires sont inutiles

Le soudage par impulsion magnétique permet une conception meilleure et plus simple des pièces à souder.

Le procédé de soudage par impulsion magnétique est un procédé de soudage "froid". Les matériaux n'atteignent pas plus de 30°C. Il n'y a donc pas de zone affectée thermiquement et le matériau ne perd pas ses propriétés. Ceci signifie qu'après soudage, les pièces peuvent être immédiatement débloquées et mises en œuvre.

Vitesse de production élevée, parfois 10 pièces à la minute.

Procédé de soudage écologique étant donné qu'on ne produit pas de chaleur, rayonnement, gaz ou fumées.

D- Exemples et Domaines d'utilisations

Le soudage peut s'utiliser comme technique d'assemblage dans tous les domaines (armement, automobile, joaillerie, etc....).figure. 6



Figure II.15 : Exemples et Domaines d'utilisations

A- Limites du processus

Le soudage par impulsions magnétiques impose certaines limitations en ce qui concerne les pièces à souder

- Puisque le processus repose sur la formation de courants de Foucault dans le matériau de flyer, seuls les matériaux Avec une conductivité élevée peut être utilisé pour la pièce extérieure.
- La géométrie des pièces à souder est limitée aux tubes et aux feuilles. Aucune autre forme n'a encore Été soudée. De plus, certaines parties de la pièce sont plus difficiles à souder que d'autres (coins Par exemple).
- La taille des pièces est limitée de 5 à 121 mm. Dans la littérature ouverte, il est rapporté que le plus grand diamètre de tubes qui a été soudé jusqu'à maintenant est de 121 mm. La taille maximale est également Limitée par le coût de la machine, qui augmente considérablement avec l'augmentation de la taille des pièces.
- Les pièces doivent se chevaucher pour générer le joint et ainsi aucune surface plane ne peut être produite.
- En raison de la taille de la machine à souder, les soudures ne peuvent être effectuées que dans un atelier.

CHAPITRE III

Défauts de soudage

3.1 Les défauts des soudages :

3.1.1 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.

3.1.2 Fissurations

A- 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 des 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.

A- 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.

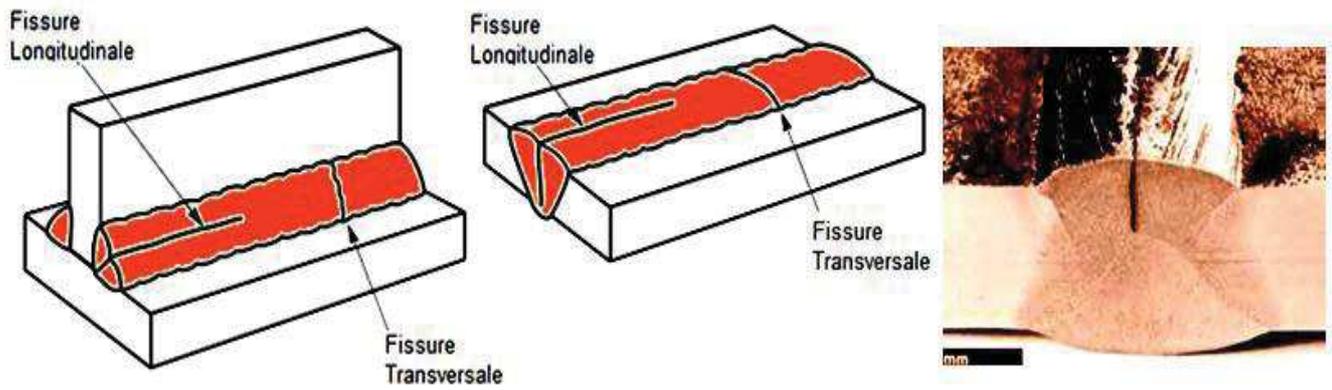


Figure III.1 : La fissure longitudinale.



Figure III.2 : La fissure transversale.

B- Types des fissures :

La figure 11 résume les fissures qui peuvent être trouvés dans la plupart des cas :

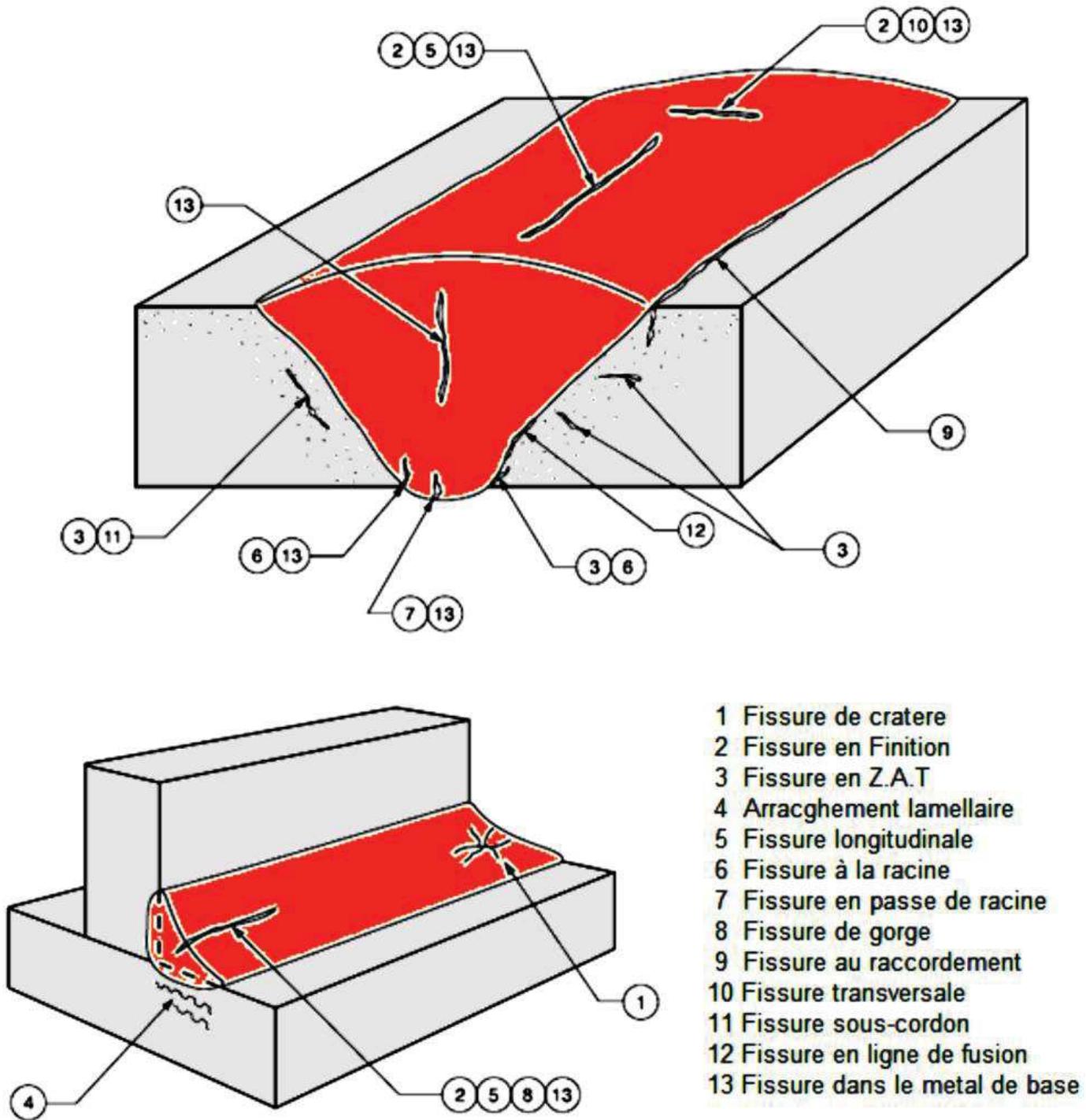


Figure III.3 : Les types de fissure.

❖ Fissure à chaud (ou de solidification) :

1. Définition :

C'est une fissure localisée normalement au centre de la coupe transversale d'une soudure (soit soudure d'angle, soit soudure bout à bout), qui peut déboucher en surface et se propager dans le sens longitudinal. Elle se forme lors de la solidification du métal déposé à température élevée.

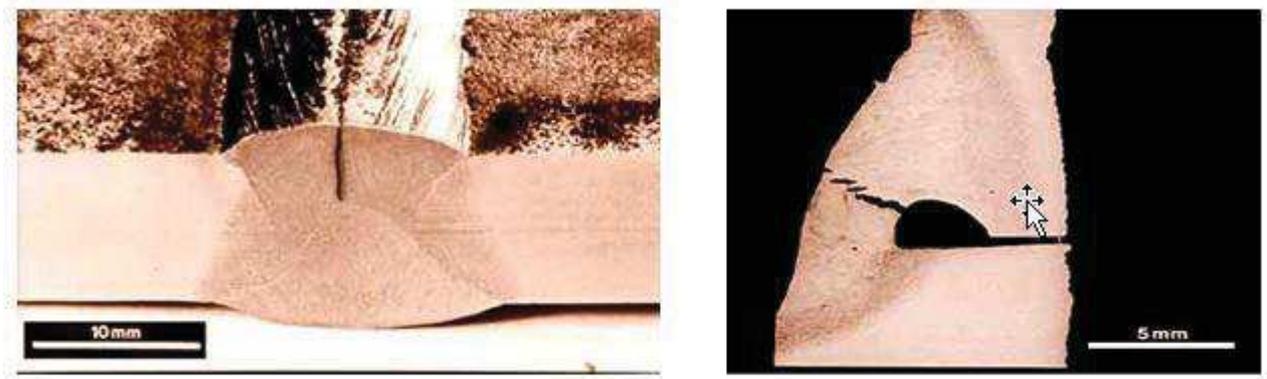


Figure III.4 : Fissure à chaud.

2. Causes :

-Retrait transversal exagéré, sur tout pour des cordons avec un rapport profondeur/largeur supérieur à deux (rapport classique pour des procédés avec grande densité de courant tels

que le soudage sous flux et le soudage MAG).

- Une teneur en carbone, phosphore ou soufre du métal de base trop élevée peut provoquer une fissure inter-dendritique par suite de la dilution entre MB et MD, des impuretés viennent se loger à l'endroit où la solidification se produit en dernier lieu, et où de plus les dendrites provenant de cette solidification se rejoignent avec une orientation différente (Fig.18.).

Notons que l'importance de la migration des impuretés augmente avec la température. C'est un effet défavorable de la préchauffe.

- Ecartement trop important entre les parties à assembler dans le cas de soudures d'angle.

- Soudures d'angle avec concavité importante : celles-ci ont parfois une résistance insuffisante pour encaisser des contraintes de retrait normales.

-Transformations allotropiques: on appelle ainsi les modifications de structure cristalline qui se produisent lors du chauffage et du refroidissement de l'acier; étant donné que ces transformations s'accompagnent de changements de volume et de solubilité en certains éléments,

elles induisent des tensions internes et l'apparition d'éventuels constituants fragiles.

3. Méthodes de détection :

- Pour des fissures débouchant en surface : examen visuel, magnétique, ressuage

- Pour fissures internes: examen par ultrasons ou radiographie.

4. Méthode de réparation :

Eliminer la partie défectueuse de la soudure 5 mm au-delà de l'extrémité visible de la fissure et réparer par soudage.

5. Mesures préventives :

- Adapter les paramètres de soudage afin de s'approcher d'un rapport profondeur-largeur

- Teneur en P et S dans le métal de base à limiter à 0,05 % pour les deux éléments.

- Limiter l'écartement des assemblages.

- Adapter le régime thermique afin d'éviter un retrait transversal important.

❖ Fissures à froid (fissures d'hydrogène) :

1. Définition :

Ce sont des fissures qui apparaissent à la suite de contraintes dans le métal aux alentours de la température ambiante. Ces fissures sont toujours localisées dans des zones de transition avec structure de trempe et peuvent déboucher dans la soudure même. La diffusion d'hydrogène est toujours un facteur contribuant. Ces fissures n'apparaissent parfois que plusieurs heures après les travaux de soudage.

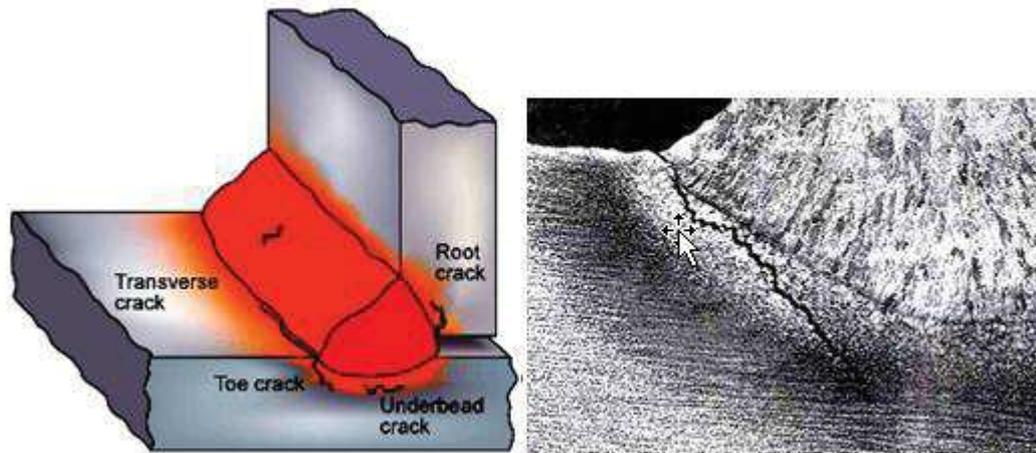


Figure III.5 : Fissure à froid (fissure d'hydrogène).

2. Causes :

La diffusion de l'hydrogène du métal de base vers la zone affectée thermiquement qui a une structure de trempe et qui est donc fissurant.

Ces porosités d'hydrogène ont une pression élevée et peuvent donc être à la base d'une fissure. L'hydrogène peut venir de l'humidité dans ou sur les produits de soudage ou d'autres produits contaminants tels que la peinture, l'huile ou des oxydes.

La probabilité de fissuration se voit en plus augmentée avec la hausse du carbone équivalent et de l'épaisseur.

De grands écartements, un régime thermique faible ou manque de préchauffe peuvent également être des éléments.

3. Méthodes de détection :

- Pour des fissures débouchant en surface : examen visuel, magnétique, ressuage
- Pour fissures internes : examen par ultrasons ou radiographie.

4. Méthode de réparation :

Éliminer la partie défectueuse de la soudure 5 mm au-delà de l'extrémité visible de la fissure et réparer par soudage. Chaque réparation doit être exécutée ici par un préchauffage correct et doit être exécutée avec l'apport calorifique correct lors du soudage, afin d'éviter une nouvelle fissuration.

5. Mesures préventives :

- Utiliser des produits de soudage à basse teneur d'hydrogène. Suffisamment sécher les électrodes avant soudage surtout celles avec enrobage basique.
- S'il y a préchauffage, chauffer l'entièreté de la section à la température voulue.

❖ Fissures de réchauffages (Reheat cracking) :

1. Définition :

Forme de fissure qui apparaît dans des aciers au Va ou Mo qui, dans le cas d'une teneur suffisamment élevée, provoquent une trempe importante dans la zone affectée thermiquement et par la suite une ductilité au fluage basée aux joints des grains dans cette zone affectée thermiquement, d'où apparition de fissures lors du fonctionnement à température élevée

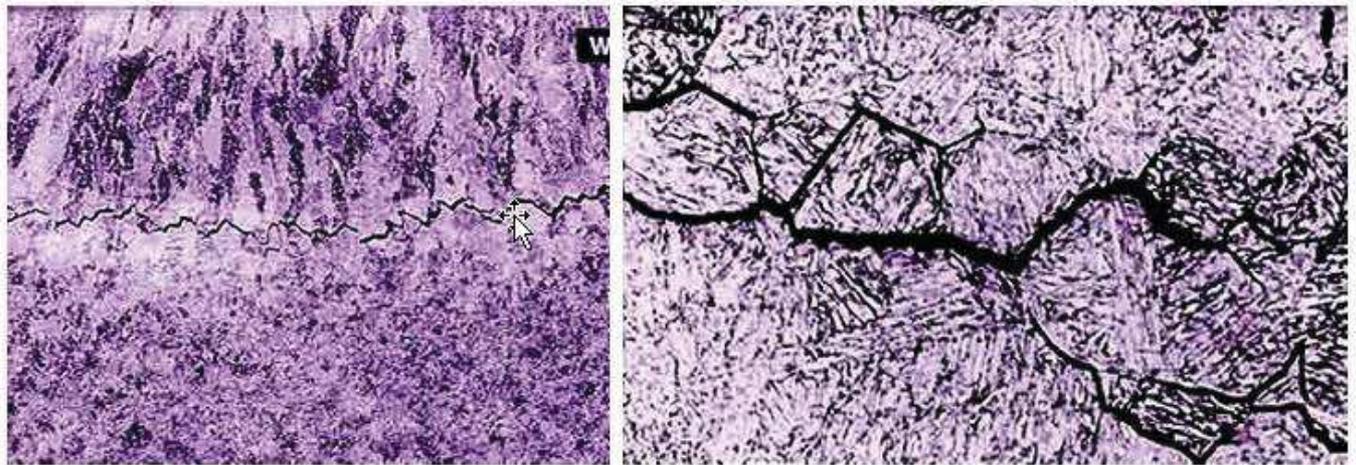


Figure III.6 : Fissures de réchauffages (Reheat cracking).

2. Causes possibles :

Des facteurs contribuant sont :

- impuretés dans l'acier (As, Sn,).
 - effets d'entaille.
 - manque de pénétration.
 - manque de fusion à la racine de la soudure
- Méthodes de détection.
- à la surface : examen visuel, magnétique ou par ressuage.
 - à l'intérieur : examen par ultrasons.

3. Méthodes de réparation :

Traitement thermique de la zone de soudage afin de restaurer la ductilité de la zone influencée thermiquement, suivi par l'élimination du défaut jusqu'à 5mm au-delà de l'extrémité de la fissure. Préchauffage suffisant avant la réparation; elle-même étant suivie par un nouveau traitement thermique.

4. Mesures préventives :

- Elimination de toute entaille avant traitement thermique.
- Traitement de détente entre les différentes passes.
- Choix du matériau-Procédure et technique de soudage.

3.1.3 Manque de fusion :

A- Localisations possibles des manques de fusion :

Des manques de fusion peuvent apparaître.

- 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.

B- Manque de fusion dans le flanc de la soudure :

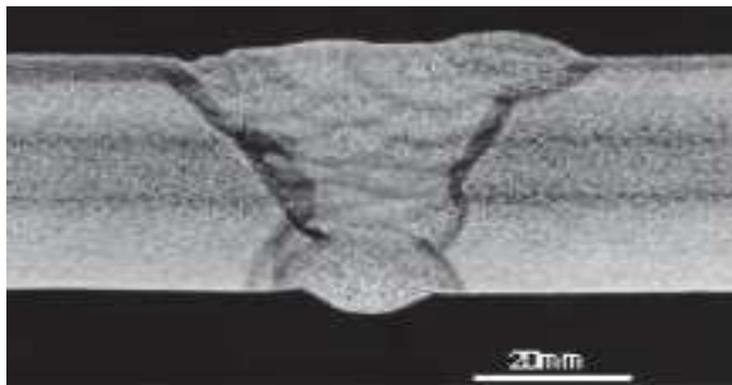


Figure III.7 : Manque de fusion dans le flanc de la soudure.

1. 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.

2. Méthodes de détection :

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

3. Méthodes de réparation :

- Eliminer la partie défectueuse et ressouder.

4. 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 devient plus nombreux.

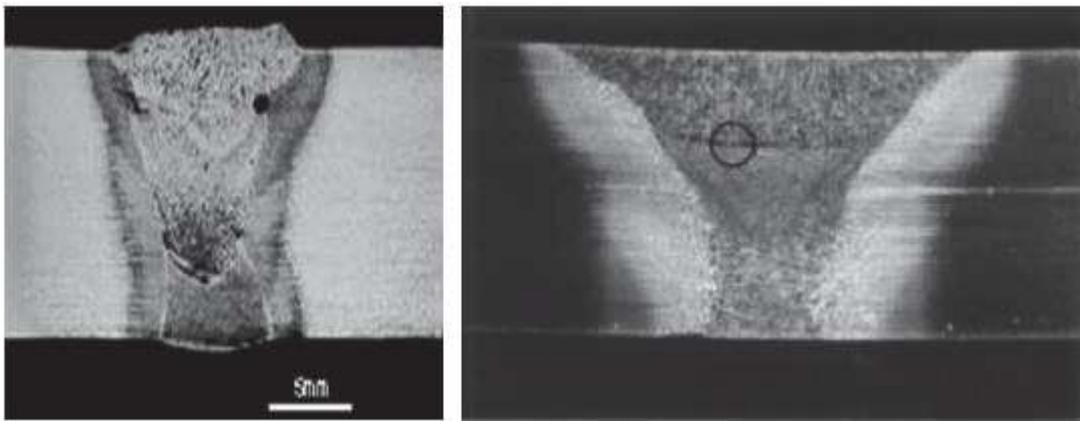
C- Manque de fusion entre passes :

Figure III.8: Manque de fusion entre passes.

1. Causes possibles :

- Idem Manque de fusion dans le flanc de la soudure.

2. Méthodes de détection :

- Idem Manque de fusion dans le flanc de la soudure.

3. Méthodes de réparation :

- Idem Manque de fusion dans le flanc de la soudure.

D- Manque de fusion à la racine de la soudure :

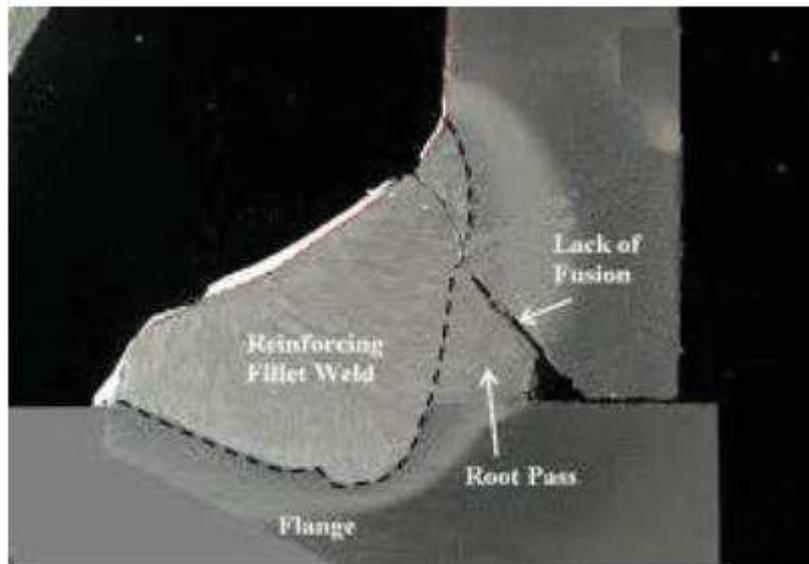


Figure III.9: Manque de fusion à la racine de la soudure.

1. Causes possibles :

Idem 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.

2. Méthodes de détection :

- Idem Manque de fusion dans le flanc de la soudure Si la soudure peut être contrôlée à revers: examen visuel, magnétique ou par ressuage.

3. 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.

4. Mesures préventives :

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

3.1.4 Manque de pénétration :

A- Manque de pénétration à la racine :

1. Définition :

Le métal d'apport n'atteint pas la racine du chanfrein.

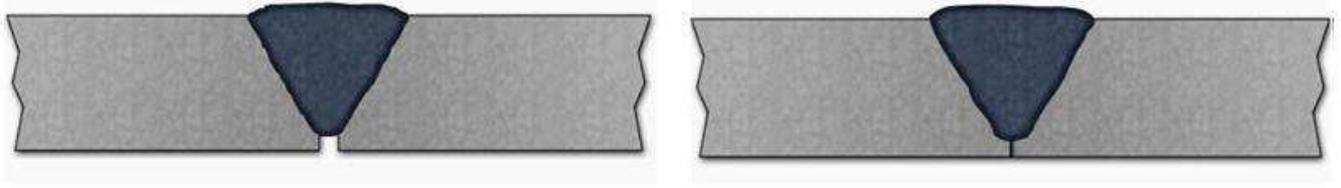


Figure III.10 : manques de pénétration à la racine de la soudure.

2. Causes possibles :

- Soudage vertical descendant tandis que vertical montant spécifié pour obtenir une pénétration complète.
- Ecartement trop faible.
- Apport calorifique trop faible.
- Vitesse de soudage trop grand.
- Diamètre d'électrode fautif dans le soudage électrique manuel.
- Inductance trop importante dans le soudage MAG.

3. Méthodes de détection :

- Défaut débouchant en surface; examen visuel, magnétique ou ressuage.
- Défaut interne: examen par ultrasons ou radiographie.

4. Méthodes de réparation :

- Eliminer le métal d'apport à partir de la face la plus accessible et réparer par soudage.

5. Mesures préventives :

- Adapter la préparation de soudage (écartement, méplat,...).
- Adapter les paramètres de soudage (vitesse de soudage, régime thermique,...).
- Diminuer la fluidité du laitier.
- Diminuer l'inductance pour le soudage MAG.

B- Manque de pénétration dans la soudure :

1. Définition :

Le métal d'apport n'atteint pas le milieu du chanfrein en X

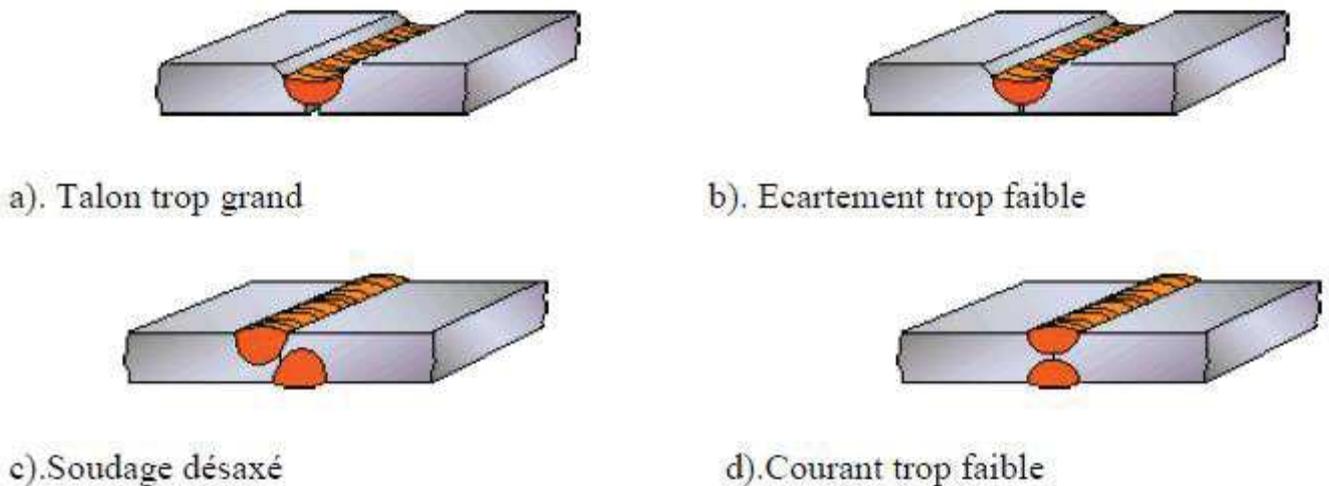


Figure III.11 : Manque de pénétration dans la soudure.

2. Causes possibles :

- Idem Manque de pénétration à la racine.

3. Méthodes de détection :

- Examen par ultrasons ou radiographie.

4. Méthodes de réparation :

- Eliminer le métal d'apport à partir de la face la plus accessible et réparer par soudage.

5. Mesures préventives :

- Idem Manque de pénétration à la racine.

- Une mesure spécifique est de faire un examen magnétique ou un ressuage après gougeage afin de contrôler la qualité du gougeage

1.3.5 Inclusion gazeuses :

A- Différentes formes d'inclusions gazeuses ou porosités :

Les inclusions gazeuses peuvent se présenter sous 3 formes :

a) Porosités vermiculaires.

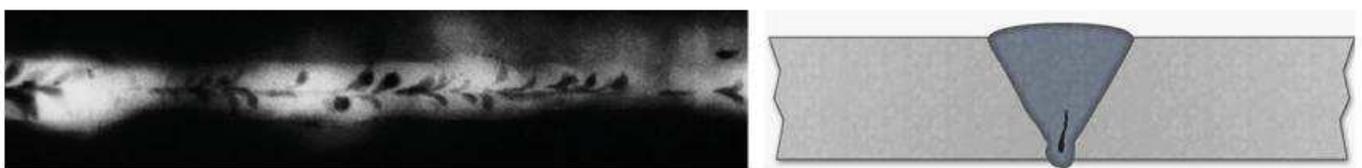


Figure III.12 : Inclusions gazeuses porosités vermiculaires.

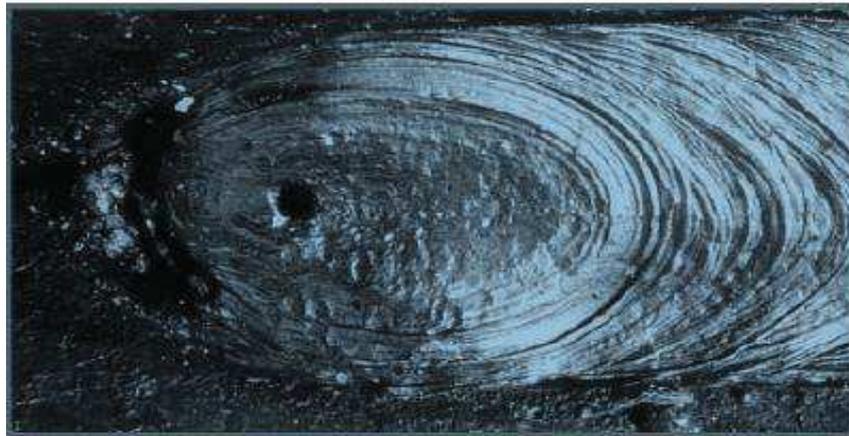
b) Porosités de reprise.

Figure III.13 : Inclusions gazeuses porosités de reprise.

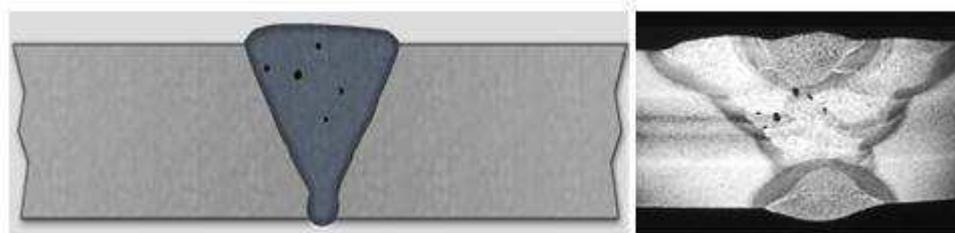
c) Porosités uniformes

Figure III.14 : Inclusions gazeuses porosités uniformes.

B- Causes possibles :

- Contamination de la surface à souder.
- Doublures dans les tôles, si elles débouchent en surface.
- Délai dans le début des réactions de protection lors de l'amorce d'une passe.
- Mauvaise amorce de l'arc par le soudeur dans le soudage manuel
- Electrodes ou baguettes de soudage corrodées.
- De l'air dans le gaz de protection.

C- Méthodes de détection :

- A la surface: examen visuel, magnétique ou par ressuage.
- A l'intérieur: radiographie ou ultrasons.

D- Méthodes de réparation :

- Éliminer la zone défectueuse et ressouder (éventuellement éliminer la doublure par meulage.
- Éliminer le défaut et réparer avec attention spéciale pour les manipulations lors de la reprise.
- Réparation de toute la soudure.

E- Mesures préventives :

- Nettoyage des bords à souder avant soudage
- Éviter des préparations de soudage qui causent des cavités.
- Formation spécifique du soudeur en ce qui concerne la reprise dans le soudage manuel.
- Éventuellement élimination par meulage de chaque début de passe, avant de mettre les passes suivantes.
- Sécher les électrodes et le métal de base.
- Dégraisser les bords à souder.
- Protéger l'arc contre les courants d'air.

3.1.6 Inclusion solides :

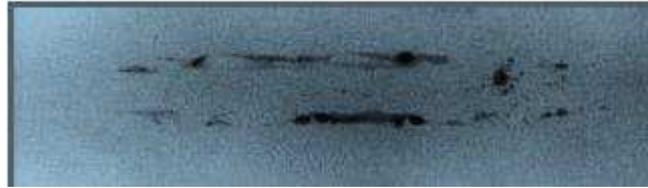
A- Différents types d'inclusions solides :

Des inclusions solides peuvent être de trois types différents :

a) Laitier :



Figure III.15: Inclusions de laitier.

b) Tungstène :**Figure III.16 :** Inclusions de tungstène.**c) Cuivre :****Figure III.17:** Inclusions de cuivre.***B- Causes possibles :***

- Manque de contrôle sur le laitier (par ex. le laitier qui coule devant le bain de fusion à cause de la position de soudage.
- Manque d'élimination du laitier entre passes d'une soudure multi-passes.
- Electrode trop pointue.
- Intensité de courant trop élevée.
- Débit de gaz de protection trop faible.
- Fusion de points de contact lors du soudage MIG à la suite d'un arc instable.
- Perte de refroidissement à l'eau provoquant la fusion de certaines parties de la torche.

C- Méthodes de détection :

- Contamination : Non décelable par des moyens CND.
- Inclusion importante: Radiographie.
- Dans le cas où ces inclusions provoqueraient des fissures se référer au chapitre fissures.

D- Méthodes de réparation :

- Eliminer la zone complète par meulage et même un peu au-delà, car l'étendue de la contamination est très difficile à évaluer.
- Eliminer la zone défectueuse par meulage et réparer.

-Éliminer le défaut par meulage et ressouder.

E- Mesures préventives :

- Ne pas utiliser des électrodes trop pointues.
- Limiter l'intensité du courant.
- Augmenter le débit du gaz de protection.
- Éventuellement adapter la position de soudage pour mieux contrôler le bain de fusion.
- Éliminer suffisamment le laitier entre passes.
- Stabiliser l'arc lors du soudage MIG.
- Minimiser les pertes de refroidissement de la torche.
- Éliminer toute source de contamination possible.

3.1.7 Excès de matière :

A- Généralité :

Un excès de matière peut se présenter la racine du cordon (excès de pénétration) ou à la surface (surépaisseur) éventuellement accompagné de recouvrements du métal de base non fusionnés

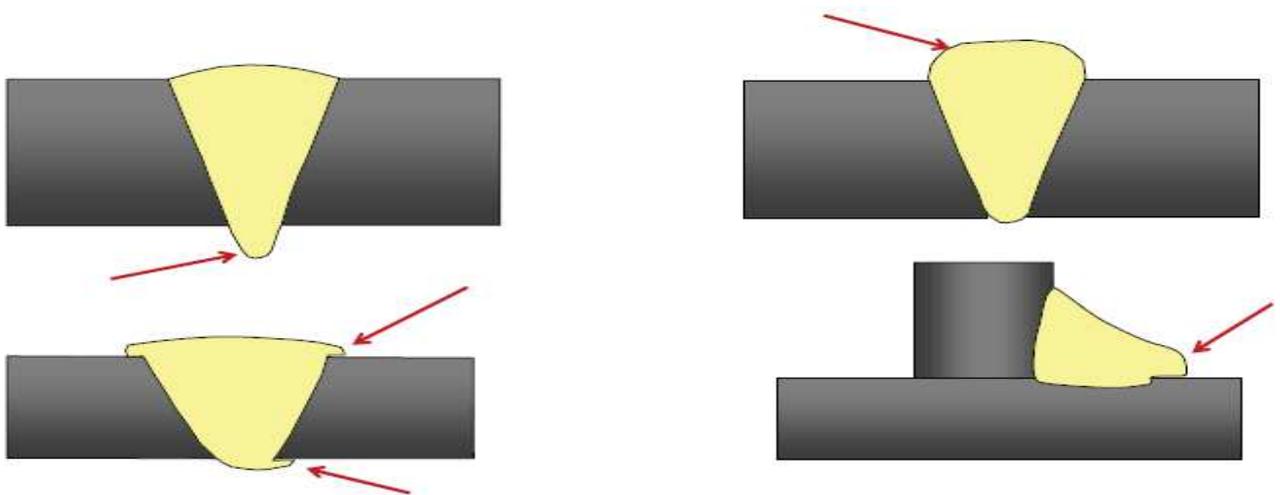


Figure III.18 : Excès de matière.

B- Causes possibles :

- Ecartement trop important.
- Apport énergétique trop important.
- Vitesse de soudage trop faible.
- Manque d'expérience du soudeur

C- Méthodes de détection :

- Contrôle visuel, éventuellement radiographie si la racine est inaccessible (soudures de tuyauteries).

D- Méthodes de réparation :

-Éliminer l'excès par voie mécanique.

E- Mesures préventives :

-Diminuer l'écartement.

-Lors d'utilisation d'anneau supports, limiter le jeu.

-Adapter la vitesse de soudage et l'apport énergétique.

3.1.8 Dénivellement :**A- Définition :**

Un alignement incorrect des bords à souder dans une soudure bout à bout. Ceci mène à des contraintes locales qui peuvent surtout être nocives en sollicitations cycliques.

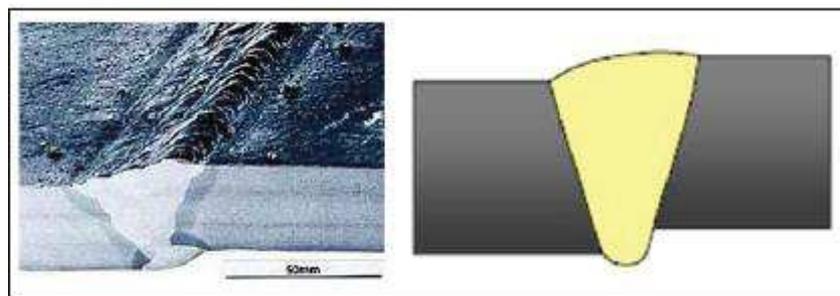


Figure III.19 : Dénivellement.

B- Causes possibles :

-Déformations par d'autres soudures.

-Ovalisations trop importantes dans des tôles formées (cordons circulaires).

C- Méthodes de détection :

Inspection visuelle avec calibre de soudage avant soudage.

D- Méthodes de réparation :

-Seulement réparer si le défaut constaté dépasse les limites indiquées dans le code de construction.

E- Mesures préventives :

-Contrôle approfondi de l'alignement avant soudage et maintien de cet alignement pendant le soudage.

3.1.9 Cratère :***A- Définition :***

Une dépression de retrait à la fin d'une passe où la source de chaleur a été enlevée

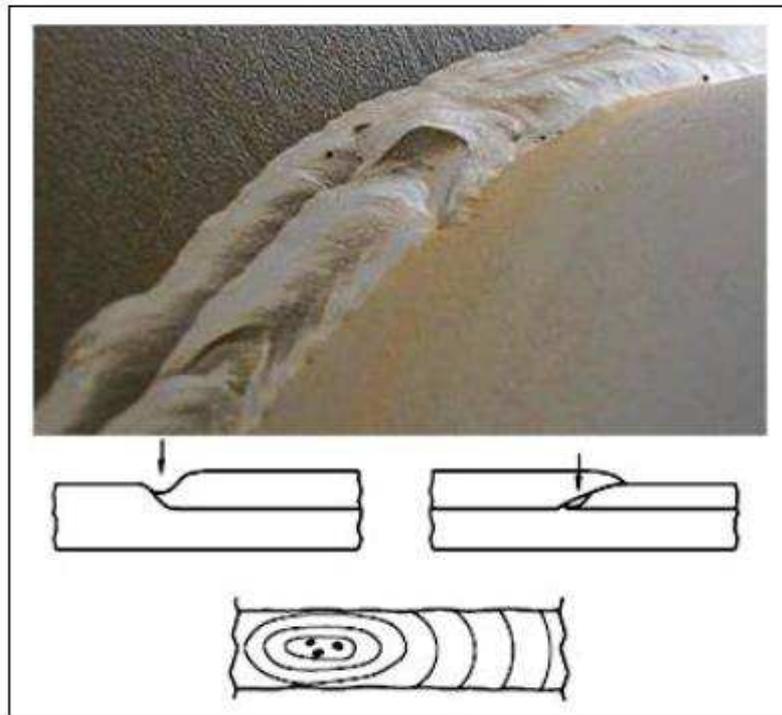


Figure III.20 : Cratère.

C- causes possibles :

Ce défaut est provoqué par une combinaison de l'interruption des réactions de désoxydation et du changement de volume lors de la solidification du dépôt(15).

D- Méthodes de détection :

Inspection visuelle -un examen interne complémentaire par ex. par radiographie démontrera presque toujours des porosités associées.

E- Méthodes de réparation :

-Meuler et ressouder.

F- Mesures préventives :

-Diminution progressive de l'apport de chaleur peut éviter les défauts.

-Prévoir un prolongement au cordon dans lequel la soudure se termine et que l'on élimine par après.

3.1.10 Défauts de surface :

A- Définition :

Un creux irrégulier à la surface du cordon juste au contact du métal d'apport et du métal de base.

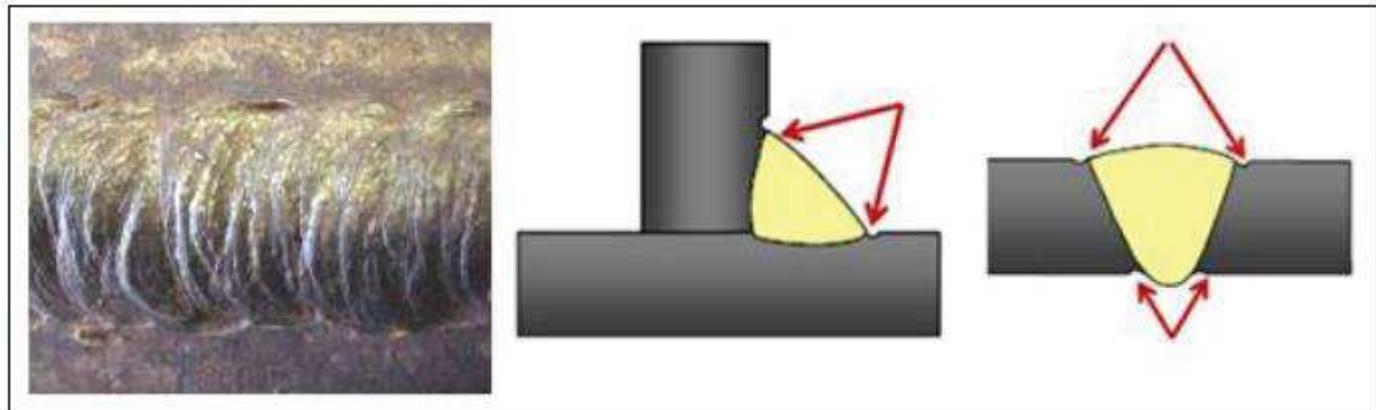


Figure III.21 : Défauts de surface (Morsures/Caniveaux).

B- Causes possibles :

- La fusion du bord supérieur une soudure d'angle ou d'une soudure bout-à-bout par une intensité trop forte.
- Le dépôt d'un cordon d'angle avec en section transversale une longueur de côté supérieure à 9mm.
- Un balancement trop fort de l'électrode (surtout en position verticale).
- Vitesse de soudage trop basse.
- Gaz de protection fautif (MIG/TIG).
- Angle de l'électrode fautif, surtout lors du soudage d'une pièce plus mince à une pièce plus épaisse.

C- Méthodes de détection :

- Visuel (mesure de la profondeur avec un calibre de soudage).

D- Méthodes de réparation :

- Réparation par soudage éventuellement après meulage.

E- Mesures préventives :

- Souder avec la pièce en position plane (sous la main).
- Limiter le balancement en passant à un cordon multi-passes.
- Ne pas terminer le cordon sur un bord libre.
- Remplacer le laitier de protection par un laitier qui mouille plus le métal de base.

CHAPITRE IV

L'outil développé

4.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'outil développé. Cette interface a été créée sous logiciel Visuel Basic 6.0.

4.2 Présentation de logiciel

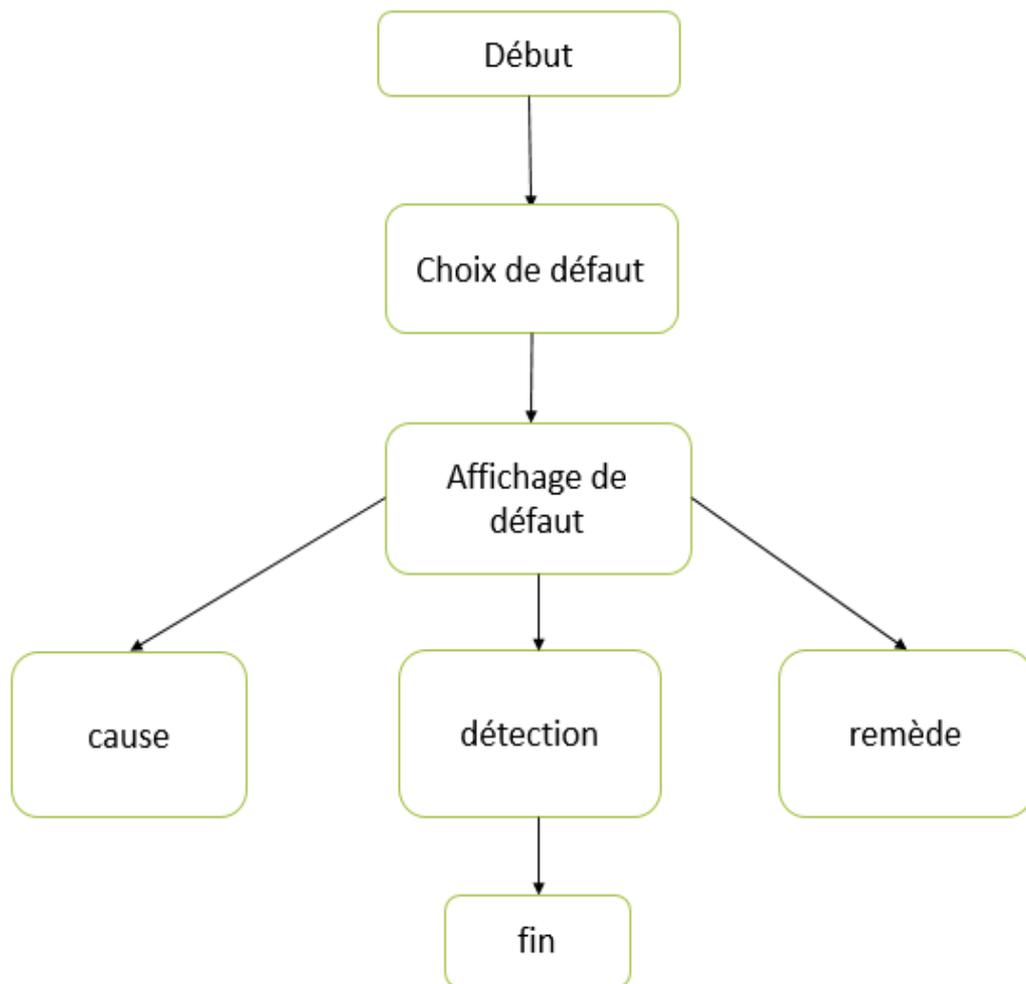
Visual Basic (VB) est un langage de programmation événementielle de troisième génération ainsi qu'un environnement de développement intégré, créé par Microsoft pour son modèle de programmation COM. Visual Basic est directement dérivé du BASIC et permet le développement rapide d'applications, la création d'interfaces utilisateur graphiques, l'accès aux bases de données en utilisant les technologies DAO, ADO et RDO, ainsi que la création de contrôles ou objets ActiveX. Les langages de script tels que *Visual Basic for Applications* et VBScript sont syntaxiquement proches de Visual Basic, mais s'utilisent et se comportent de façon sensiblement différente.

Un programme en VB peut être développé en utilisant les composants fournis avec Visual Basic lui-même. Les programmes écrits en Visual Basic peuvent aussi utiliser l'API Windows, ceci nécessitant la déclaration dans le programme des fonctions externes.

Dans une étude conduite en 2005, 62 % des développeurs déclaraient utiliser l'une ou l'autre forme de Visual Basic. Selon la même étude, les langages les plus utilisés dans le domaine commercial sont Visual Basic, C++, C# et Java.

La dernière mise à jour de Visual Basic est la version 6.0, sortie en 1998. Le support étendu Microsoft a pris fin en 2008. À partir de la version 7, le Visual Basic subit des changements substantiels le rapprochant de la plate-forme « dot Net », et qui amènent Microsoft à le commercialiser sous le nom de Visual Basic .NET

4.3 Organigramme de l'outil



4.4 Axés au module

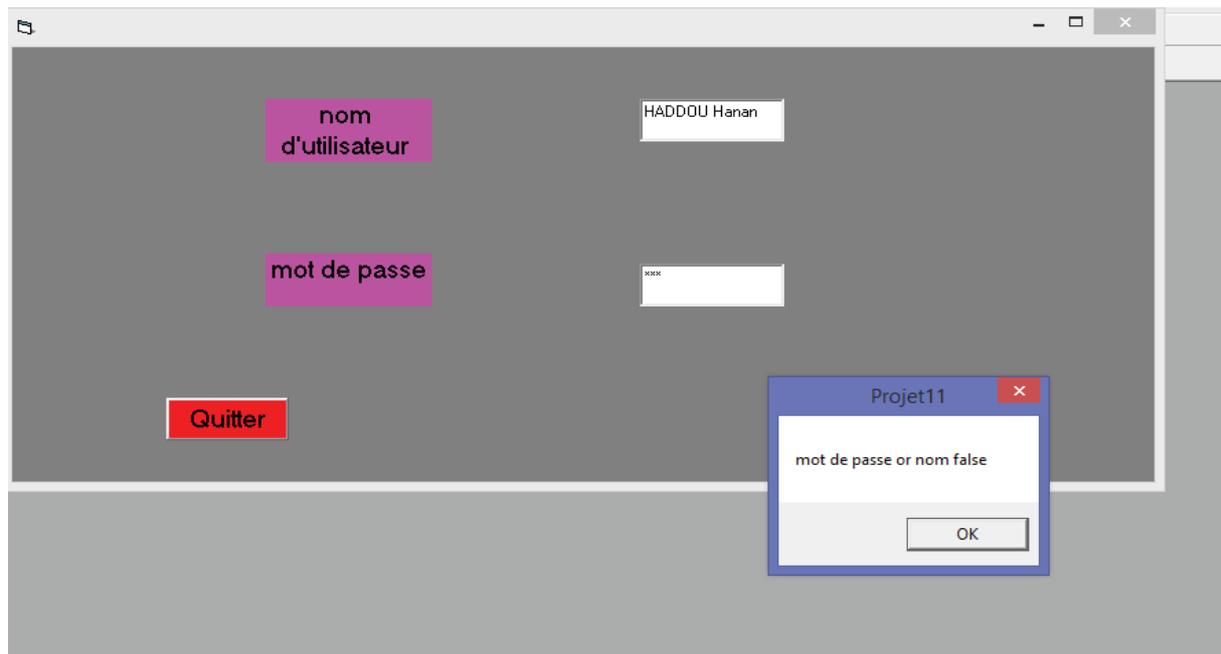


Figure IV.1 : saisir le mot de passe

4.5 Présentation de l'outil

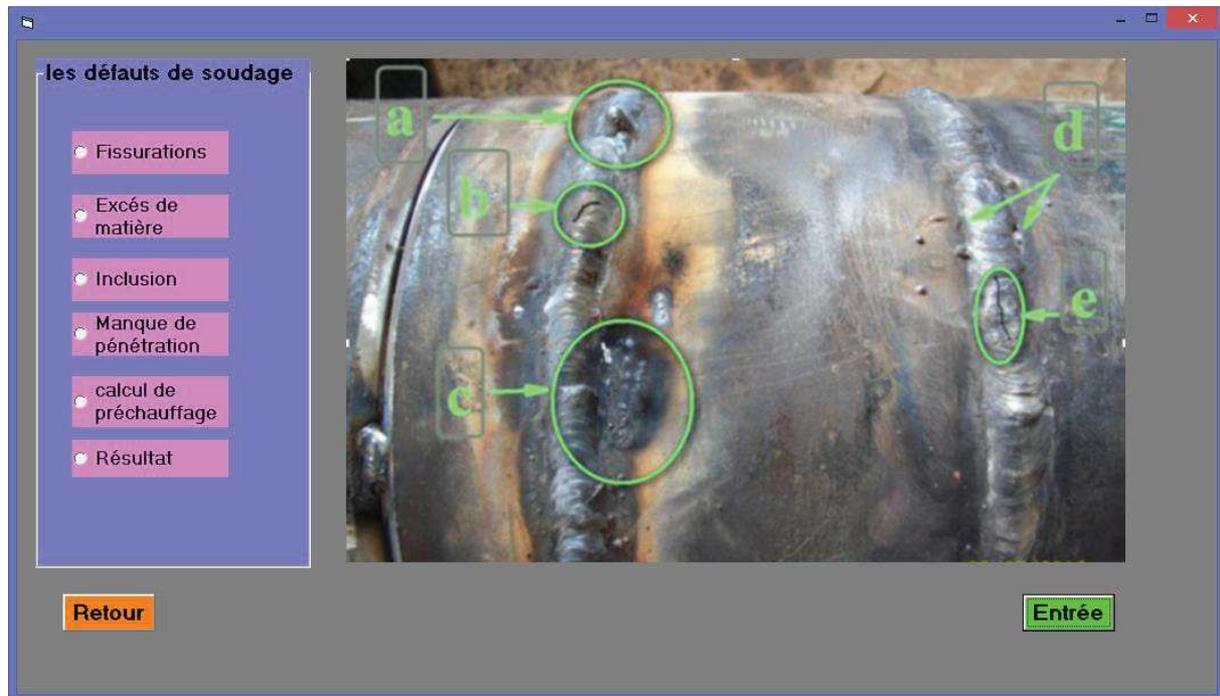
L'écran de la figure 4.2 présente le module développé.



Figure IV.2 : Interface de l'outil développé

4.6 Choix de défaut

L'écran de la figure 4.2 illustre les différents types des défauts de soudage



FigureIV.3 : différents types des défauts de soudage

Cette fonction remplit plusieurs défauts tels que :

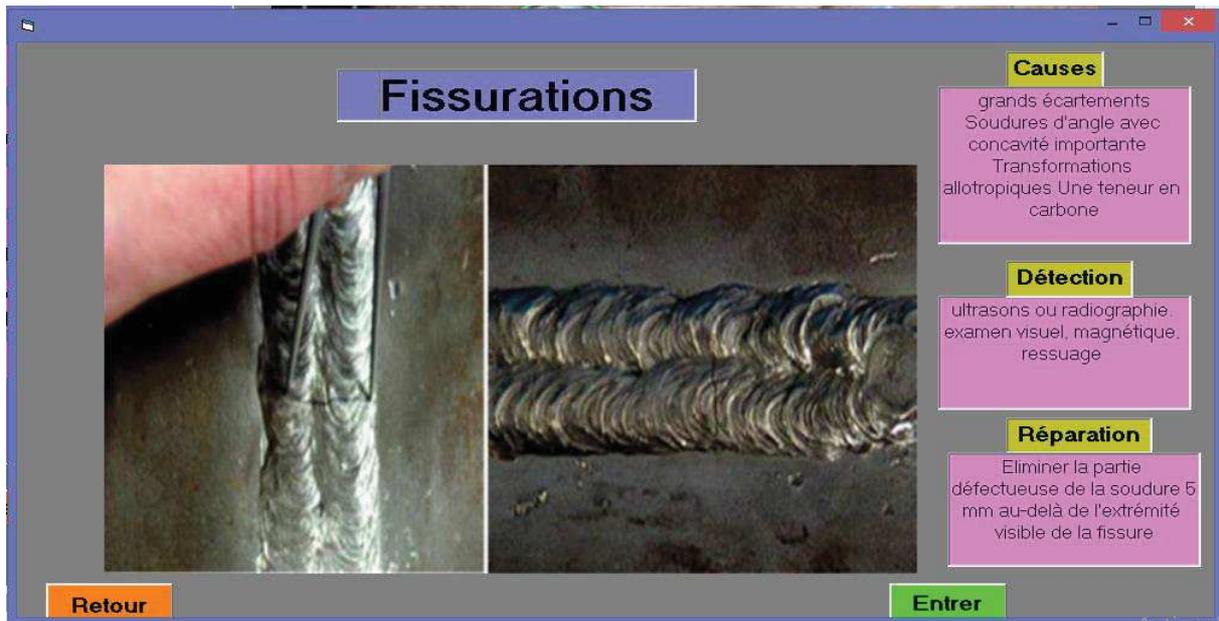
- . Fissuration
- . Manque de pénétration
- . Inclusion gazeuses
- . Excès de matière

Pour accéder à l'un de ces défauts, il suffit de cliquer sur la commande de ce défaut

4.7. EXMPLE D'application

➤ Première fonction : FISSURATION

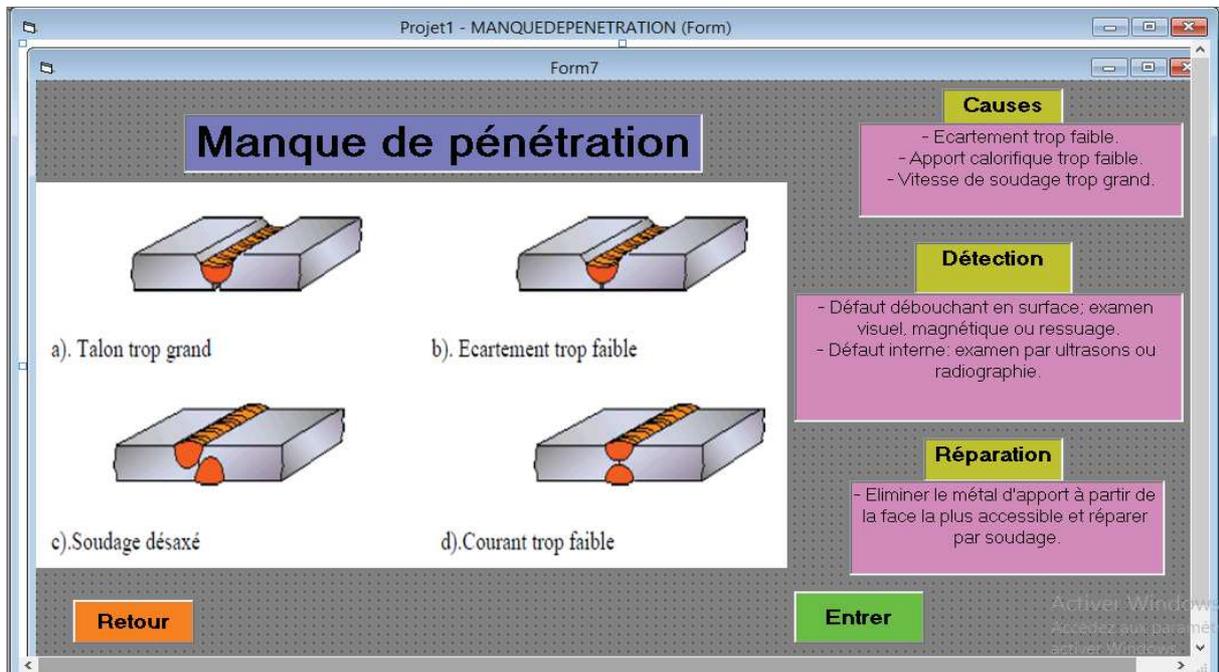
L'écran de la figure illustre les différents types de fissuration



FigureIV.4 : différents types de fissuration

➤ **Deuxième fonction Manque de pénétration**

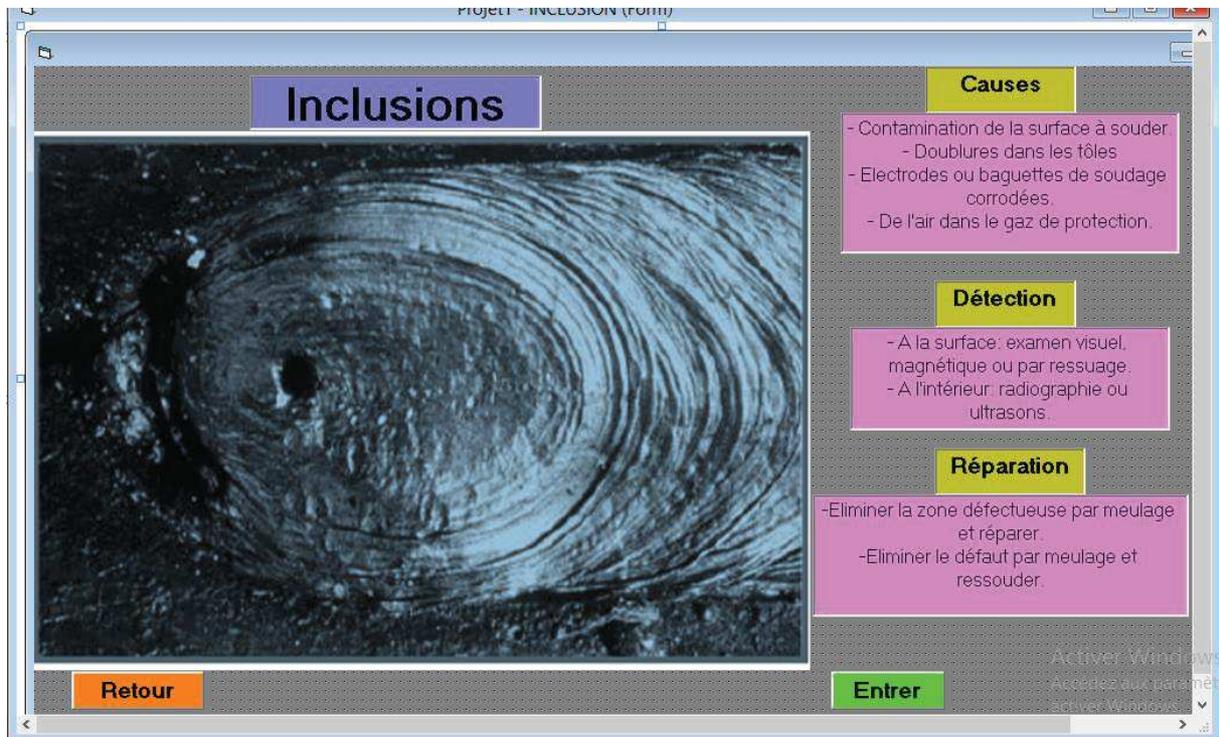
L'écran de la figure illustre les différents types de Manque de pénétration



FigureIV.5 : différents types de Manque de pénétration

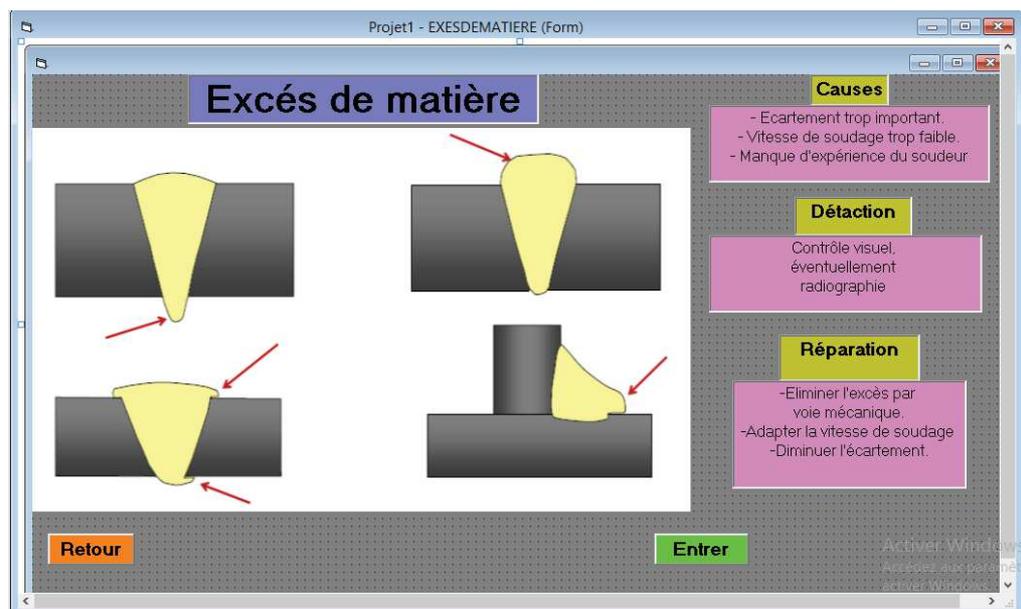
➤ **Troisième fonction Inclusion**

L'écran de la figure illustre les différents types de l'inclusion gazeuse



FigureIV.6 : Inclusion

➤ **Quatrième fonction excès de matière**



FigureIV.7 : excès de matière

Conclusion

Dans cette section, nous avons développé un outil, sous VB6, d'aide à la détermination des différents types de soudage existant au niveau de l'industrie.

On a représenté quelque défaut à l'aide de logiciel avec précision des causes, la détection et les remèdes.

Ce travail sera élargi à d'autres défauts de joints de soudure ainsi que le calcul

Des paramètres de soudage entrant dans la conception des assemblages soudés.

Conclusion générale

Les principaux défauts rencontrés sont d'ordre métallurgique. Ils sont aussi divers que variés. A défaut de les éliminer, ils sont atténués et pris en considération lors de leur utilisation dans le milieu. De même les températures de préchauffage et l'étuvage des baguettes ont une influence capitale sur la qualité des joints de soudure. Le manque de spécialistes en soudage est comblé par les métallurgistes et les fabricants (FM). La recherche des causes et remèdes à tous ces problèmes de soudage entrave les solutions à apporter par les maintenanciers.

L'objectif de ce travail est le développement d'un outil de diagnostic des défauts de soudage dans les cordons de soudure.

Ce module « Welding Default » remplit plusieurs fonctions essentielles qui sont :

- Présentation de différents défauts de soudage :

- Fissuration,
- Manque de pénétration,
- Inclusion,
- Excès de matière

- Causes, détection et remèdes pour chaque défaut ;

En perspective, ce travail sera élargi à d'autres défauts de joints de soudure ainsi que le calcul Des paramètres de soudage entrant dans la conception des assemblages soudés.

Référence Bibliographiques

Site Internet :

- (1) <http://www.google.dz/search?q=Page+1+OBJECTIF+Donner+une+vue+globale+des+cons%C3%A9quences+de+la+r%C3%A9alisation+des+assemblages+par+soudage.+RESUME+Cette+le%C3%A7on+d%C3%A9crit+les+principes+de+base+&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:fr:official&client=firefox-a> Fichier pratique de scruté ED83 3E Edition. Sebtembre2099 .
- (2) SAF-AIR LIQUIDE, Procédés TIG. et plasma, Ed.1-SUY 542/20/2000.
- (3) Guide de soudage, Soudage l'arc sous gaz de protection TIG ,MIG ,MAG, T ou V, publications de la soudure autogène, 1996(En cyclopie).
- (4) R.GAZES. Soudage à l'arc. Techniques de l'ingénieur B7730, AOOUT1995.
- (5) Documents (PDF) défauts de soudage des pipelines Yamani Institute of Technology.
- (6) Documents Technique COSIDER Biskra 2012.
- (7) Documents Yamani Institute of Technology
- (8) Site Internet : <http://www.yamani-institute.com/>
- (9) https://fr.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic