

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université Badji Mokhtar Annaba



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : construction mécanique

THEME :

Contrôle Non Destructif des joints de soudure

Par : BERGOUG ALI

Soutenu Devant le jury composé de :

Pr. ZEGHIB NASSEREDDINE	Président / Encadreur
Dr. BOUSSAID OUZINE	Examineur
Dr. MENAIL YOUNES	Examineur
Mr. GOUASMI SACI	Examineur
Dr. TAKILI SABIHA	Examineur

Promotion : 2018/2019



Remerciements

Avant tous, Nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir aidé et éclairé notre chemin.

Nous tenons à remercier infiniment ma mère qui m'a encouragé et m'a aidé à arriver à ce stade de ma formation ainsi que toute ma famille.

Nous adressons spécialement nos remerciements à : Monsieur MR ZEGHIB NASSEREDDINE, notre encadreur, pour ses remarques et conseils qu'ils nous ont aidé énormément.

Nous remercions également du fond du cœur, tous les enseignants du département de génie mécanique, qui ont contribué à notre formation.

Aussi à monsieur Ali Rachedi chef de département Contrôle Qualité Promech et Hocine Boulkroune expert soudure

Nos vifs remerciements également à tout le personnel de département de génie mécanique.

Tous les gens qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de notre projet.

Enfin nos remerciements chaleureux à tous les membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail.



Dédicaces

Je dédie ce travail

A mon défunt père et a ma chère mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A tout mes sœurs et frères pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé.

*A ma chère femme et mon bébé RADJI HOB ALLAH.
Je voudrais également adresser mes remerciements particuliers a :*

-mes amis Khaled .s ; Mohamed.ch et Sliman.ch.

-tous mes collègues de travail Mebarki .s ; Bendjedid .a.k ; metiri.a ; meradi.s et geulati.s.

- tout les étudiants de la classe génie mécanique option construction mécanique surtout Elrifai Hazem.

A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie

A tous ceux que j'aime.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Etude bibliographique (soudage)

I-1- introduction	01
I-2- Définition de soudage	02
I-3- Propriétés de l'arc de soudage	03
I-3-1- le soudage électrique à l'arc SMAW	03
I-3-1-1- Caractéristique principaux	03
I-3-1-2- Caractéristiques de l'électrode	03
I-3-1-3- avantage et inconvénient	03
I-3-2- le soudage électrique à l'arc SAW	04
I-3-2-1- Caractéristique principaux	04
I-3-2-2- Caractéristiques du couple fil/flux	05
I-3-2-3- Avantages et inconvénients	05
I-4- Caractéristiques de la soudure	06
I-4-1- Principaux métaux pour soudage	07
I-5- Types de soudures et Forme de joint	07
I-6- Classification des défauts dans les assemblages soudés	08
I-6-1- Défauts de fissures	08
I-6-2- Défauts de soufflures ou cavités	09
I-6-3- Défaut d'inclusions	09
I-6-4- Défaut de manque de fusion et pénétration	10
I-6-5- Morsures et caniveaux	11
I-6-6- Défauts géométriques des cordons	11
I-7- Conclusion	13

Chapitre II : étude bibliographie (C N D)

II-1- Introduction	14
II-2- Définition de C N D	14
II- 3- Caractéristiques des procédés de CND	15 16
II-4- Classification des méthodes de CND	17
II-4-1- Contrôles visuels	17
II-4-1-1- Principe du contrôle	17
II-4-1-2- Mise en œuvre du contrôle	18
II-4-1-3- Avantage et Inconvénients	18

II-4-2- Le contrôle par ressuage	18
II-4-2-1- Principe du contrôle	19
II-4-2-2- Equipement pour l'essai	19
II-4-2-3- Domaines d'application	20
II-4-2-4- Avantages et inconvénients	20
II -4- 3- La magnétoscopie	20
II -4- 3-1- Définition et principe de la méthode	20
II-4-3-2- Domaine d'application	21
II-4-3-3- Choix du révélateur	22
II -4- 3-4- Caractéristiques des produits	22
II -4- 3- 5- Avantages et Inconvénients	22
II- 4-4- La radiographie industrielle	22
II-4-4-1-1- principe de radiographie industrielle	22
II- 4- 4-2- Rayons X	23
II- 4- 4-3- Avantage et Inconvénients	23
II-4-5- Contrôle par ultrasons	24
II-4-5-1- Principe de contrôle	24
II-4-5-2- Différents types d'ondes	24
II-4-5-3- Appareillage utilisé	25
II-4-5-3-1- Les palpeurs	25
II-4-5-4- Méthodes de contrôle	25
II-4-5-4-1- Contrôle par écho d'impulsion	25
II-4-5-5- Procédure de contrôle	26
II-4-5-5-1- Etalonnage	26
II-4-5-5-2- Balayage	26
II-4-5-5-3- Domaine d'application, Avantages et Inconvénients	26
II-5-conclusion	27

chapitre III : Partie expérimentale et applications

III-1- Identification de l'entrepris PROMECH	28
III-2- Application 1- Contrôle par Ressuage	29
III-3- Application 2-Contrôle par Ultrasons	32
III-4- Proposition de diagnostic et remèdes	36
Conclusion générale	37

Liste de figures : chapitre I

Figure 1 : Charpente	01
Figure 2 : Réservoirs d'air	01
Figure 3 : Bouteille à gaz	01
Figure 4 : Chaudière industrielle	01
Figure 5 : Canalisation de transport de fluide	01
Figure 6 : Collecteur (nourrice)	01
Figure 7 : les modes d'assemblage	02
Figure 8 : Électrode enrobée : caractéristiques	04
Figure 9 : Soudage sous flux en poudre	05
Figure 10 : Présentation macrographique d'un joint soudé	06
Figure 11 : Fissure longitudinale	08
Figure 12 : Fissure longitudinale	08
Figure 13 : Fissure de cratère	08
Figure 14 : Soufflure sphéroïdale isolée	09
Figure 15 : Nid de soufflures	09
Figure 16 : Soufflures vermiculaires	09
Figure 17 : Inclusion de laitier	09
Figure 18 : Défaut de manque de fusion	10
Figure 19 : Défaut de pénétration	10
Figure 20 : caniveaux	11
Figure 21 : Morsures	11
Figure 22 : Défaut de convexité	11
Figure 23 : Défaut de concavité	11
Figure 24 : Défaut d'alignement	12
Figure 25 : Déformations angulaires	12
Figure 26 : Projection	12

Liste des figures : CHAPITRE II

Figure 1 : Exemple de jauges de contrôle	17
Figure 2 : les étapes ressuage	18
Figure 3 : produit d'essai	18
Figure 4 : image d'une pièce contrôlée par magnétoscopie	19
Figure 5 : Impression, sur le film radiographique, de l'image du défaut	22
Figure 6 : Tube à rayons X	22

Figure 7 : Types d'ondes et modes de propagation des ultrasons dans un solide	23
Figure 8 : Structure d'un palpeur droit	24
Figure 9 : Contrôle par réflexion	24

Liste des figures : CHAPITRE III

Figure 1 :le matériel d'essai	28
Figure 2 : étape 1	28
Figure 3 : étape 2	29
Figure 4 : étape 3	29
Figure 5 : étape 4	29
Figure 6 : étape 5	30
Figure 7 : étape 6	30
Figure 8 :le matériel utilise	31
Figure 9 : l'appareil de l'ultrason EPOCH LT	31
Figure 10 : étalonnage	32
Figure 11 : balayage	32
Figure 12 : image d'un test sans défaut	33
Figure 13: image d'un test avec pic de défaut	34

Liste des tableaux : chapitre I /

Liste des tableaux : chapitre II

Tableau 1 : Les procédés de contrôle non destructif : caractéristiques	14	15
--	----	----

Liste des tableaux : chapitre III

Tableau 1 : L'ordre des actions à mener	35
---	----

ملخص

لقد درسنا العيوب في طبقات اللحام للأجزاء التي تتعرض لضغوط شديدة في الخدمة. لهذا الغرض، أجريت قياسات تجريبية من خلال اختبارات غير المتلفة، وخاصة السائل المخترق، للكشف عن التشققات السطحية والموجات فوق الصوتية لاكتشاف العيوب داخل طبقات اللحام ولتحديد حجمها ومواقعها. تم وضع اقتراح للتدخل لتجنب هذه العيوب للشركة يوضح أولوية العناصر المتعلقة بعملية اللحام بترتيب أمثل. تم تقديم مقترح مخطط للسماح للشركة بحساب المردود التقني وفقا لعدد مرات إرجاع الأجزاء إلى الإصلاح وكذلك القطع التالفة بشكل دائم. كما يمكن حساب المردود الاقتصادي إذا تم تقديم تكلفة كل عملية.

كلمات البحث: لحام، مخترق، الموجات فوق الصوتية، تشقق، عيوب.

Résumé

Nous avons étudié les défauts dans les joints de soudure pour les pièces soumises a des pressions sévères en service. Pour cela on a effectuée des mesures expérimentales par des contrôles non destructifs et particulièrement le ressuage, pour faire apparaître les fissures en surfaces et les ultra-son pour détecter les défauts a l'intérieur des cordons de soudure et quantifier leurs tailles et leurs positions. une proposition d'intervention pour éviter ces défauts est établie pour l'entreprise faisant apparaître la priorité des paramètres liés au procédé de soudage dans un ordre optimal . Un schéma est introduit pour paramètre a l'entreprise de calculer le rendement technique en fonction du nombre de retour des pièces a la réparation et celle définitivement rebutées .le rendement économique peut être calculé si le cout de chaque opération est introduit.

Mots clés : soudure, ressuage, ultra-son, fissure, défaut

Abstract

We have studied the defects in the weld seams for parts subjected to severe pressures in service. For this purpose, experimental measurements were carried out by non-destructive tests, particularly bleeding, to reveal surface cracks and ultrasound to detect defects inside the weld seams and to quantify their sizes and positions. An intervention proposal to avoid these defects is established for the company showing the priority of the parameters related to the welding process in an optimal order.

A diagram is introduced to allow the company to calculate the technical performance based on the number of return parts to the repair and that permanently discarded.

The economic return can be calculated if the cost of each operation is introduced.

Keywords: welding, penetrant, ultrasonic, crack, fault

Introduction générale

Introduction générale :

La maîtrise du comportement des structures et des assemblages est une nécessité croissante pour les différents secteurs ; aéronautique ; automobile ; marin ; transport pétrolier ; agroalimentaire... etc. la connaissance approfondie des phénomènes intervenants dans le processus de leur réalisation est une nécessité absolue afin de prévenir des anomalies qui peuvent être à l'origine de leurs défaillances.

La plupart des constructions soudées présentent des risques importants en cas de défaillance. Ces risques sont importants lorsque la défaillance peut conduire à des destructions brutales de la construction. C'est le cas des constructions soumises à des pressions où l'énergie emmagasinée est considérable.

Les défaillances peuvent entraîner des dégâts humains et matériels importants.

Les défauts de soudures peuvent être à l'origine de ces défaillances.

Le soudage comme moyen d'assemblage est un domaine de construction mécanique très vaste où les spécialistes, techniciens, ingénieurs et chercheurs continuent de faire des progrès très importants en vue de maîtriser tous ses aspect Métallurgique et Technologiques de mise en œuvre des opérations de soudage , de contrôle et de vérification de l'intégrité des soudures.

On estime aujourd'hui que 60 à 80 % de la production mondiale des aciers est destinée à la fabrication des produits soudés. Leurs compositions chimiques et leurs caractéristiques mécaniques représentent un des éléments essentiels intervenant dans le choix du métal d'apport destiné à leurs jonctions par un procédé de soudage approprié (soudage à l'arc électrique, soudage par résistance électrique, soudage par faisceau d'électrons, soudage au plasma, soudage par laser, ...).

Pour ces raisons des travaux de recherches au niveau international sont périodiquement publiés dans ce domaine de constructions soudées.

Le but de notre travail est le contrôle par des méthodes non destructives des assemblages soudés que nous avons traité en deux parties (théorique et pratique)

La partie théorique a été traitée en deux chapitres :

Chapitre 1 : Recherche documentaire sur le soudage d'une manière générale

Chapitre 2 : Recherche documentaire sur le contrôle non destructif des assemblages soudés.

La partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle qualité de l'entreprise PROMECH/ Annaba (Entreprise de production mécanique et de chaudronnerie Elle a consisté à effectuer des contrôles non destructif (ressuage et ultrason) sur une éprouvettes de test pour vérifier préalablement la qualité de la soudure qui sera réalisée sur la fabrication d'une citerne d'air comprimé de pression de service 14 bars.

L'éprouvette est un assemblage bout à bout de tôles en acier A 42 CP par le procédé de soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée sur une face et par le procédé de soudage automatique à l'arc sous flux de poudre sur l'autre face.

Chapitre I :

Etude bibliographique

(Soudage)

I-1- introduction :

L'assemblage par soudage occupe une place importante dans l'univers de la construction comme par exemple : les bateaux, trains, avions, fusées, automobiles, ponts, tuyaux, réservoirs et tant d'autres choses qui ne sauraient être construites sans le recours au soudage.

Le développement industriel est porté par le souci permanent de trouver de nouveaux procédés de fabrication pour améliorer la qualité du produit, la productivité, le prix de revient et le temps d'exécution etc.

Figure 1 : Charpente



Figure 2 : Réservoirs d'air



Figure 3 : Bouteille à gaz



Figure 4 : Chaudière industrielle



figure 5: Canalisation de transport de fluide



figure 6: Collecteur (nourrice)



I-2- Définition de soudage : opération consistant à réunir deux ou plusieurs parties d'un assemblage, de manière à assurer la continuité métallique entre les parties à assembler,

- Par chauffage, par pression, par chauffage et pression ; Avec ou sans emploi de produit d'apport. (Figure 7)

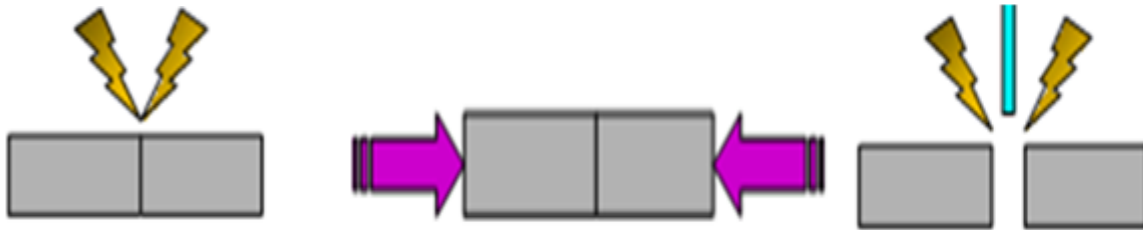


Figure 7 : les modes d'assemblage

Il y a lieu de distinguer :

- le soudage homogène, pour lequel le produit d'apport est de constitution physico-chimique semblable à celle du matériau de base, ou lorsque les deux parties à assembler sont de même constitution physico-chimique ;
- le soudage hétérogène, pour lequel le produit d'apport présente une constitution physico-chimique différente de celle du matériau de base. [5]

Le soudage fait appel nécessairement à une source d'énergie, Elle peut être thermique, électrique ou mécanique.

L'apport d'énergie localisé doit être suffisant pour assurer la fusion des bords des pièces à souder.

Les zones fondues nécessitent d'être protégées en cours de soudage pour éviter qu'elles soient affectées par le milieu ambiant. Les moyens de protection peuvent être :

- ✓ Enrobages des électrodes ;
- ✓ Gaz inertes tels que l'argon ou l'hélium ;
- ✓ Flux de poudre.

Un procédé de soudage est caractérisé principalement par ces moyens de protection.

Dans le domaine du soudage, la principale classification méthodique des procédés peut s'effectuer par le type d'énergie mise en œuvre ;

- Parmi les procédés de soudage on s'intéresse dans ce mémoire au soudage à l'arc et plus précisément :
 - le soudage électrique à l'arc avec Électrode enrobée SMAW ;
 - avec fil électrode fusible Sous flux en poudre SAW.

I-3- Propriétés de l'arc de soudage:

Un arc est une décharge électrique établie et entretenue dans un gaz entre deux électrodes reliées aux pôles d'un générateur et dégageant lumière et chaleur [6], les deux procédés de soudage les plus utilisés sont :

- le soudage électrique à l'arc avec Électrode enrobée SMAW ;
- le soudage électrique à l'arc avec fil électrode fusible Sous flux en poudre SAW.

I-3-1- le soudage électrique à l'arc avec Électrode enrobée SMAW

I-3-1-1- Caractères principaux :

- Électrode : tige métallique ou baguette de longueur limitée formant le métal d'apport ;
 - Protection : vapeurs provenant d'un enrobage de l'électrode ;
 - Nature du courant : alternatif ou continu ;
 - Électrode : fil métallique fusible dévidé d'une façon continue ;
 - Protection : apport simultané de poudre composite appelé flux ;
 - Courant : continu et alternatif. 50 à 250(A) ;
 - Epaisseurs (mm) : 5 à 20 plutôt moyennes ;
 - Vitesse opératoire : lente ;
 - Productivité : Faible ;
 - Forme de joint : en bout, à clin, en T ;
 - Hygiène : des fumées, rayonnements ;
 - Applications : tous travaux.
- ❖ **Appareillage** : L'appareillage comporte une source de courant continu ou alternatif, une pince porte-électrode et l'électrode proprement dite, un câble de liaison et un câble de masse. (Figure 8)

I-3-1-2- Caractéristiques de l'électrode : L'électrode doit correspondre aux matériaux et aux épaisseurs à souder, mais également aux caractéristiques métallurgiques et mécaniques que l'on désire pour les soudures.

I-3-1-3- avantage et inconvénient :

Procédé universel pour les avantages qu'il présente et qui sont liés à la simplicité et une flexibilité inégalées de son emploi dans tous les domaines industriels:

- Un équipement simple et facile à mettre en œuvre ;
- Possibilité d'emploi pratiquement dans toutes les conditions (Chantier, atelier, etc.) ;

- Disponibilité de main d'œuvre et produit de soudage sur le marché, large variété des électrodes de soudage.

Ces avantages sont à opposer aux inconvénients qu'il présente et qui sont notamment liés à

- Arrêts nécessaires pour le changement des électrodes en cours de soudage ce qui peut engendrer les défauts de reprises.
- D'une capacité et d'une productivité relativement limitée par rapport au procédé SAW et MIG/MAG.

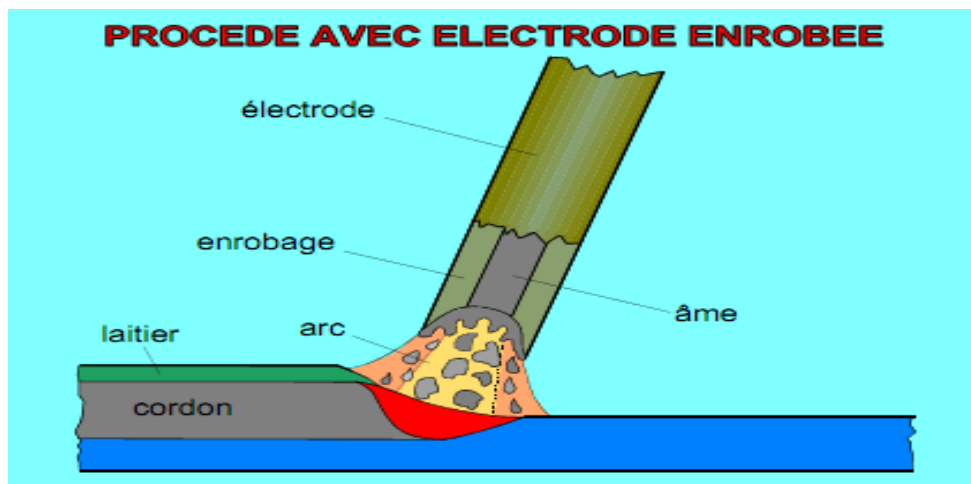


Figure 8 – Électrode enrobée : caractéristiques

I-3-2 le soudage électrique à l'arc avec fil électrode fusible Sous flux en poudre

I-3-2-1- Caractères principaux :

- Électrode : fil métallique fusible dévidé d'une façon continue ;
- Protection : apport simultané de poudre composite appelé flux ;
- Courant : continu et alternatif. 10 à 100 (A) (et +) plutôt fortes ;
- Epaisseurs (mm) : 10 à 100 (et +) plutôt fortes ;
- Vitesse opératoire : forte ;
- Productivité : forte ;
- Forme de joint : forte, en bout en T ;
- Hygiène : aspiration des poussières ;
- Applications : chaudronnerie lourde.

❖ Appareillage :

- Une tête de soudage, l'entraîneur de fil, le dévidoir ;

- Recevant la bobine de fil, la trémie de poudre et son conduit à la torche ;
- Une source de courant continu ou, dans certains cas, alternatif ;
- Un coffret d'automatisme et des accessoires. (Figure 9)

I-3-2-2- Caractéristiques du couple fil/flux

❖ Fil :

- Le matériau du fil de soudage correspond au métal de base de la pièce et est défini en fonction des caractéristiques du métal déposé ;
- Les fils d'aciers sont protégés de l'oxydation par un cuivrage électrolytique qui facilite l'arrivée du courant et reste sans effet sur le métal déposé.

❖ Flux :

Le flux en poudre crée le milieu ionisé (ou conducteur) et protège la soudure. De plus, comme l'enrobage, il partage avec le fil la responsabilité des caractéristiques des soudures.

I-3-2-3 Avantage et inconvénient

Le soudage sous flux se place, par rapport au soudage à électrode enrobée, avec pratiquement les mêmes avantages quant à son adaptativité métallurgique, mais il résout le problème de la productivité par :

- Son fonctionnement continu grâce au fil-électrode ;
- Son taux de dépôt supérieur.

Cela le cantonne dans le domaine de la chaudronnerie moyenne et lourde et, de façon générale, dans les applications dans lesquelles :

- Les épaisseurs sont élevées (> 30 à 50 mm) et, par suite, les chanfreins importants ;
- Les soudures sont longues (plusieurs mètres) et uniformes (absence d'angle).

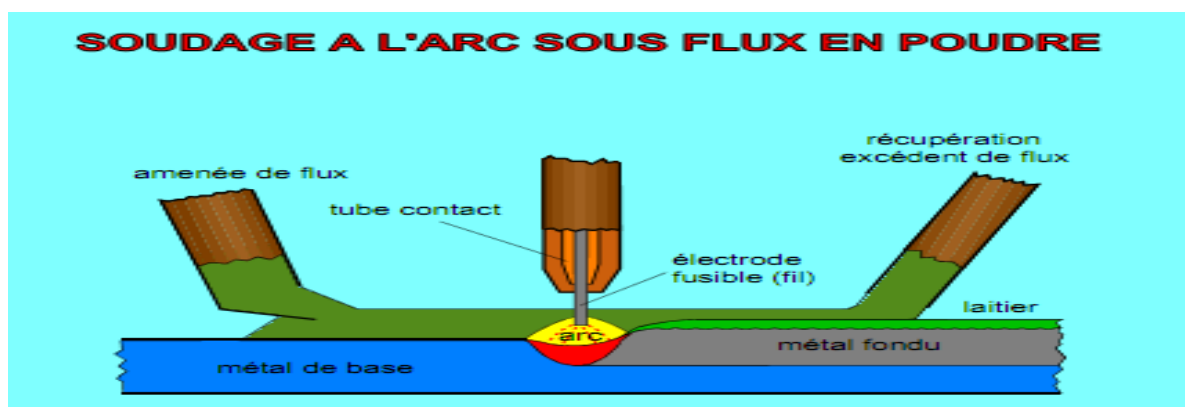


Figure 9 – Soudage sous flux en poudre

I-4- Caractéristiques de la soudure :

Le soudage est le procédé qui permet de reconstituer la continuité métallique entre les surfaces des éléments à assembler pour activer les surfaces, la fusion est une méthode très efficace qui permet également le nettoyage de surface afin d'assurer l'installation de la liaison métallique.

Quel que soit le procédé de soudage par fusion, la structure d'une soudure typique d'un alliage est composée de 6 zones principales. (Figure 10)

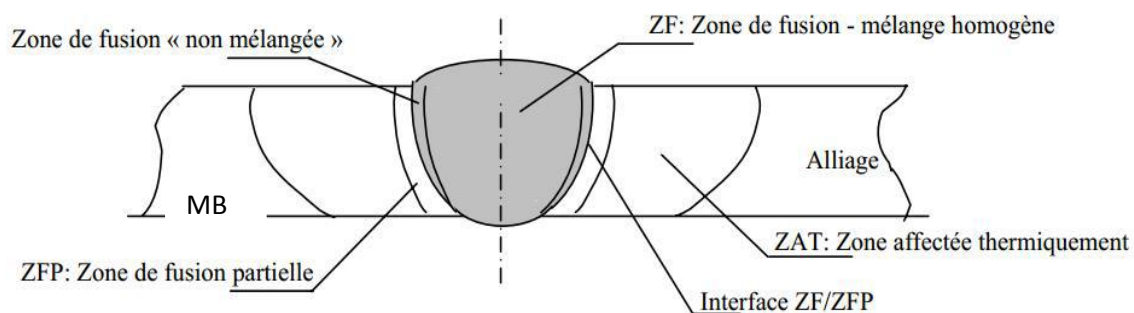


Figure 10: Présentation macrographique d'un joint soudé.

- **(ZF)** la zone de fusion : est la région chauffée au dessus de température liquidus. Le bain de fusion est similaire à un système de fonderie ou le métal de base est considéré comme un moule.
- **(ZNM)** la zone non mélangée : est la zone étroite à l'extrémité du bain de fusion, dans cette zone, les forces de convection étant inférieures aux forces de friction des fluides.
La composition chimique est identique à celle du métal de base.
- **(ZFP)** la zone partiellement fondue : est directement adjacente à l'interface de la soudure.
- **(ZF/ZFP)** la surface formant clairement la frontière entre le métal de base non fusionnée et le métal de soudure solidifiée.
- **(ZAT)** la zone affectée thermiquement : est la zone où la température est comprise entre la température du solidus et une température plus basse mais suffisamment élevée pour permettre des réactions ou des transformations à l'état solide, en modifiant la structure du métal de base.
- **(MB)** le métal de base : est la partie du matériau qui ne subit pas de modifications microstructurales. Bien que métallurgiquement inchangé.

I-4-1- Principaux métaux pour soudage

➤ **aciers :**

Les aciers à faible teneur en carbone ($C < 0,25$ Va) se soudent sans précaution particulière. Les difficultés de soudage augmentent avec la masse des pièces ou avec la teneur en carbone.

➤ **aluminium E7 alliages légers :**

On évite de souder les alliages à traitement thermique (fragilité du métal au voisinage de la soudure). On soude principalement les métaux suivants :

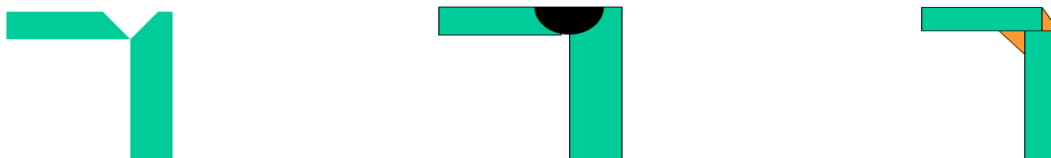
- ✓ Al 99,5 — Al Mg 5 — Al Mg 4;
- ✓ cuivre et alliages cuivreux [7]

I-5-Types de soudures et Forme de joint

➤ **Soudures bout à bout sur pièces chanfreinées en :**



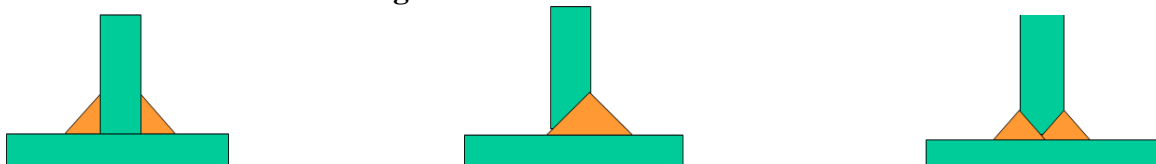
➤ **Assemblages en angle extérieur et intérieur**



➤ **Assemblage bout à bout avec latte support**



➤ **Soudure sur assemblage en T**



➤ **Assemblages par recouvrement**



I-6- Classification des défauts dans les assemblages soudés

Les défauts sont classés en six groupes:

- Fissures ;
- Cavités(Soufflures) ;
- Inclusions solides ;
- Manque de fusion et de pénétration ;
- Défauts de forme et défauts dimensionnels ;
- Défauts divers. [5]

I-6-1- Défauts de fissures

Types de fissures fréquentes :

- ➔ Fissure longitudinale ; (Figure 11)
- ➔ Fissure transversale ; (Figure 12)
- ➔ Fissure de cratère. (Figure 13)

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. ;

Remèdes contre les fissures :

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

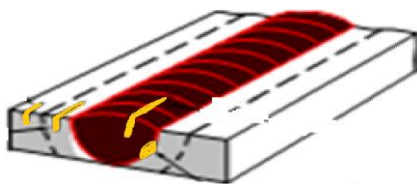


Figure 11

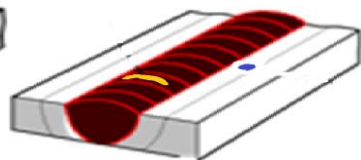


Figure 12

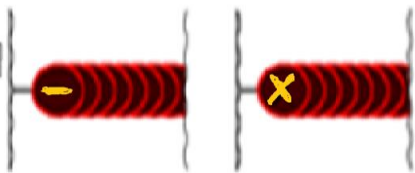


Figure 13

I-6-2- Défauts de soufflures ou cavités

Types de soufflures fréquentes :

- Soufflure sphéroïdale isolée ; (Figure 14)

- Nid de soufflures ; (Figure 15)
- Soufflures vermiculaires. (Figure 16)

Causes des soufflures:

- ➔ 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.

Remèdes contre le défaut de soufflures:

- ➔ s'assurer que la surface du métal de base et d'apport est propres et non gras ;
- ➔ Vérifier la protection gazeuse ;
- ➔ une intensité de courant trop faible et une vitesse de soudage trop élevée peut entraîner ce défaut ;
- ➔ les piqûres sont généralement causées par le contact entre l'électrode et le métal de base.

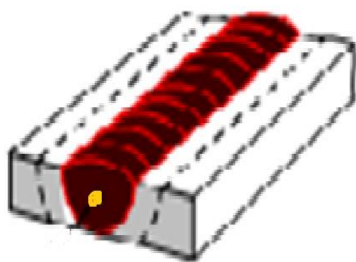


Figure 14

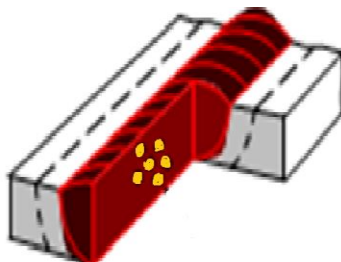


Figure 15

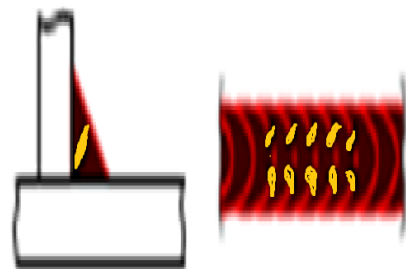


Figure 16

I-6-3-Défaut d'inclusions

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon.

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 soudage. (Figure 17)



Figure 17

I-6-4- Défaut de manque de fusion et pénétration

I-6-4-1- Défaut de manque de fusion :

- ➔ Manque de fusion des bords à souder
- ➔ Manque de fusion entre les passes.
- ➔ Manque de fusion à la racine. (Figure 18)

Cause des défauts de collage :

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

Remèdes:

Mettre en œuvre un DMOS adapté



Figure 18

I-6-4-2- 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. (Figure 19)

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

Remèdes:

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

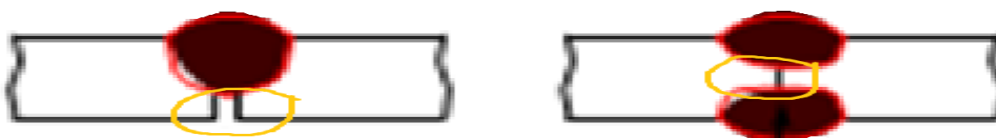


Figure 19

I-6-5-Morsures et caniveaux ;(Figure 20 et 21)**Cause :**

- ➔ Vitesse d'avance trop faible ;
- ➔ L'intensité élevée.

Remède :

- ➔ réduire intensité,
- ➔ augmenter la vitesse d'avance,
- ➔ augmenter la longueur d'arc.

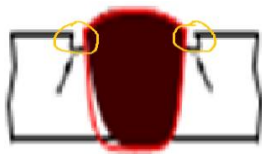
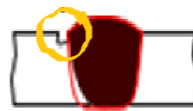


Figure 20



Figure 21

**I-6-6- Défauts géométriques des cordons****I-6-6-1 Défaut de convexité**

Il s'agit d'un excès de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Les normes imposent des limites d'épaisseur pour le cordon. Si le cordon est trop bombé et dépasse ces limites, alors il y a défaut de convexité. (Figure 22)

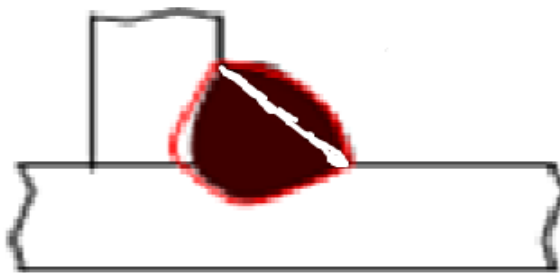


Figure 22

I-6-6-2- Défaut de concavité

Il s'agit d'un manque de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Si le cordon est trop creux et dépasse les limites des normes, alors il y a défaut de concavité. (Figure 23)



Figure 23

I-6-6-3 Défaut d'alignement

Lorsque les pièces sont mal bridées et/ou le pointage insuffisant, on peut avoir un défaut d'alignement. (Figure24)



Figure24

I-6-6-4- Déformations angulaires

Les déformations importantes de l'opération de soudage peuvent aussi entraîner un défaut angulaire. Les pièces assemblées ne respectent pas la forme souhaitée. (Figure 25)

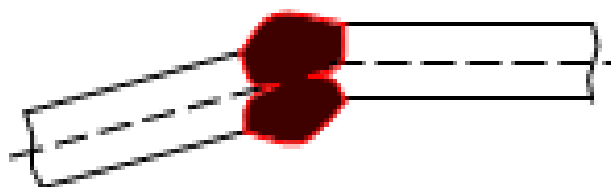


Figure 25

I-6-6-5- Projection (Figure 26)

Cause :

- Courant de soudage trop élevé ;
- Arc trop long. Mauvaise polarité ;
- Électrode défectueuse.

Remède :

- Réduire le courant de soudage ;
- Réduire la longueur d'arc ;
- Utiliser des électrodes correctes. Si nécessaire, ouvrir un nouveau carton.

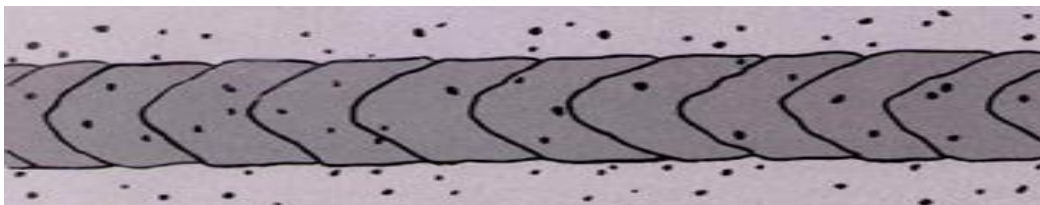


Figure 26

I-7- conclusion

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la qualité d'une soudure. Les défauts internes doivent être détectés par rayon X ou par ultrasons. Pour les défauts débouchants, il existe quatre principales méthodes de détection qu'on exposera dans le chapitre suivant.

Chapitre II :

Etude bibliographique

(Contrôle Non

Destructif (CND))

II-1- 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. [1]

II-2- Définition de C N D :

L'appellation contrôles non destructifs fait naturellement penser au diagnostic que le médecin formule lors de l'examen de son patient. Le même principe appliqué aux pièces mécaniques consiste à mettre en œuvre des méthodes d'investigation pour permettre d'apprécier sans destruction, l'état de santé des pièces et de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction à laquelle elles sont destinées. Considérée sous cet aspect d'aptitude au bon fonctionnement. [3]

La définition suivante des Contrôles Non Destructifs apparaît plus proche de la réalité industrielle : il s'agit de « qualifier, sans nécessairement quantifier, l'état d'un produit, sans altération de ses caractéristiques par rapport à des normes de recette ».

Le contrôle non destructif d'un produit ou d'un objet peut être effectué à trois stades différents de sa vie, conduisant à trois types d'applications.

- Le contrôle en cours de fabrication
- Le contrôle de réception
- Le contrôle en service

II- 3- caractéristiques des procédés de CND :

Le tableau 1 dresse la liste des procédés actuellement en contrôle industriel et résume leurs principes et leurs champs d'application spécifiques. Les performances des procédés de contrôle non destructif résultent à la fois de considérations Théoriques et pratiques.

***Caractéristiques Des procédés de contrôle non destructif [3]**

Tableau 1 – Les procédés de contrôle non destructif : caractéristiques

Types de procédés	Méthodes de contrôle	Principes physiques	Types de défauts détectés	Domaines d'application	Points forts	Points faibles
Optiques	Examen visuel direct ou assisté	Vision Perturbation d'une réflexion	Défauts débouchants, fissures, criques, trous	Contrôle manuel de tous produits à surface accessible	Souplesse	Productivité, fiabilité
	Contrôle laser			Contrôles automatiques de bandes et tôles	Productivité	Taux de fausses alarmes
	Contrôle TV	Formation d'une image	Défauts d'aspect, taches	Contrôle automatique en fabrication des produits divers	Productivité	Défauts fins
	Interférométrie Holographique	Détection de microdéformations provoquées	Délaminations, décollements	Contrôle en atelier de parois non métalliques	Contrôle des composites	Interprétation, productivité
	Thermographie Infrarouge	Cartographie de Perturbations thermiques	Délaminations, Hétérogénéités diverses	Idem Contrôle sur site	Cartographie	Caractérisation des défauts
Ressuage	Ressuage	Effet de capillarité	Défauts fins débouchants	Contrôle manuel de tous produits à surface accessible	Simplicité Faible coût	Productivité, peu quantitatif
Flux de fuite magnétique	Magnétoscopie	Accumulation de poudre	Défauts fins débouchants et sous-cutanés	Produits Ferromagnétiques (aciers)	Sensibilité	Réservé aux aciers Peu quantitatif
	Détection de flux de fuite	Distorsion d'un flux magnétique	Défauts fins débouchants		Sensibilité Automatisation	Sensibilité Automatisation
Électro-magnétiques	Courants de Foucault	Perturbations d'un courant	Défauts fins débouchants	Contrôle en ligne et sur chantier de tous produits métalliques	Sensibilité Automatisation	Matériaux non conducteurs Interprétation
	Potentiel électrique	Perturbations d'un courant	Perturbations d'un courant	Tous produits conducteurs	Simplicité Faible coût	Contrôle manuel Lent
	Hyperfréquences	Transmission ou réflexion radar	Hétérogénéités diverses	Matériaux peu conducteurs	Contrôle sans contact	Interprétation du signal

Tableau 1 – Les procédés de contrôle non destructif : caractéristiques (suite)

Types de procédés	Méthodes de contrôle	Principes physiques	Types de défauts détectés	Domaines d'application	Points forts	Points faibles
Rayonnements ionisants	Radiographie X	Atténuation d'un flux	Défauts internes	Contrôle en atelier et sur site de tous matériaux	Cartographie Souplesse de réglage	Protection Détection des fissures
	Radiographie			Contrôle en ligne	Fortes épaisseurs	Profondeur des défauts
	Radioscopie en temps réel				Productivité	Résolution limitée
	Tomographie X				Imagerie en coupe	Coût Productivité
	Neutronographie	Rétrodiffusion	Délaminations	Corps hydrogénés	Complète la radiographie	Équipement Condition d'emploi
	Diffusion Compton			Contrôle des composites		
Vibrations mécaniques	Ultrasons	Perturbation d'une onde Échographie	Défauts internes Défauts débouchants	Contrôle manuel ou automatique de la majorité des matériaux	Grande sensibilité Nombreuses Méthodes d'auscultation	Conditions d'essai Interprétation des échos Couplage
	Émission acoustique	Émission provoquée par sollicitation mécanique	Criques Fissures	Parois de gros récipients Structures diverses	Contrôle global avec localisation des défauts	Interprétation Bruits parasites
	Essais dynamiques	Perturbations d'un amortissement Mesure de vitesse	Criques Fissures	Contrôle de pièces moulées	Productivité	Qualitatif
Tests d'étanchéité	Essais hydrostatiques	Détection de bulles	Défauts débouchants dans joints ou parois, zone perméable	Tubes et enceintes en tous matériaux	Grande étendue de flux de fuite selon la méthode	Contingences diverses selon la méthode
	Tests avec gaz traceurs (halogènes, hélium)	Détection chimique				
	Détection sonore	Bruit acoustique				

II-4- Classification des méthodes de CND :

Les techniques de contrôle non destructif les plus couramment employées actuellement peuvent être classées en deux familles principales, étroitement liées à la localisation de l'anomalie sur la pièce en cour d'examen.

- la première famille concerne la méthode dites de surface pour lesquelles l'anomalie est localisée en surface extérieure .elle groupe les procédés suivants :
 - 1-examen visuel ;
 - 2-ressuage ;
 - 3-magnétoscopie ;
 - 4-courants de Foucault.
- la deuxième famille concerne la méthode dis volumique Pour lesquelles l'anomalie est localisée dans le volume de la pièce. Elle regroupe les procédés suivants :
 - 5-rayonnement ionisants,
 - 6- ultrason.

- Nous donnons ci-dessous le principe des principaux contrôles non destructifs.

II-4-1- Contrôles visuels

II-4-1-1 Principe du contrôle :

Le type le plus courant d'essai non destructif est le control visuel. Le control visuel permet de vérifier la dimension, la forme et la position des soudures. Ce type d'examen est destine à déceler les défauts tel que les fissure, les inclusions, les caniveaux et le manque de pénétration.

Le control visuel permet également de détecter les projections, les surépaisseurs excessives et de vérifier que la totalité du laitier a été éliminée. [1]

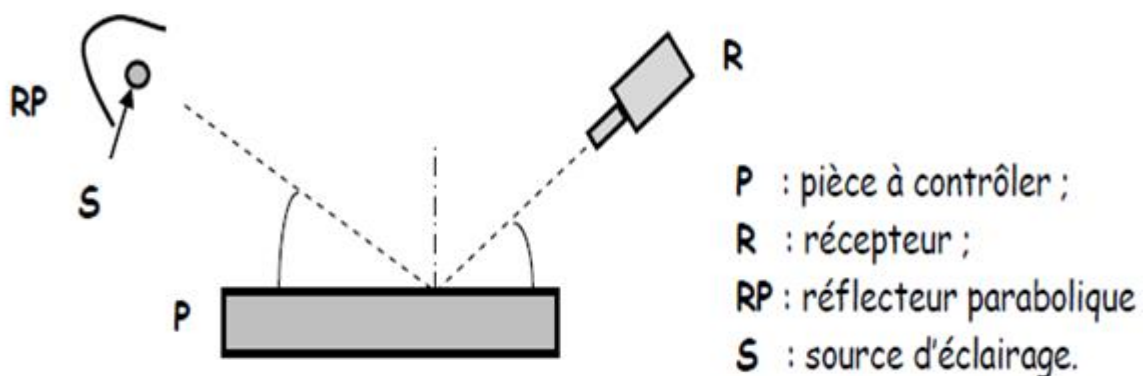


Figure 1 : Eclairage direct

II-4-1-2- Mise en œuvre du contrôle :

- Jauges ou calibres (figure 2) pour mesurer les gorges, les surépaisseurs,...
- Loupes pour la recherche de défauts débouchants (fissures, manque de fusion,...),
- Miroirs ou endoscopes pour observer des zones non accessibles à l'œil.

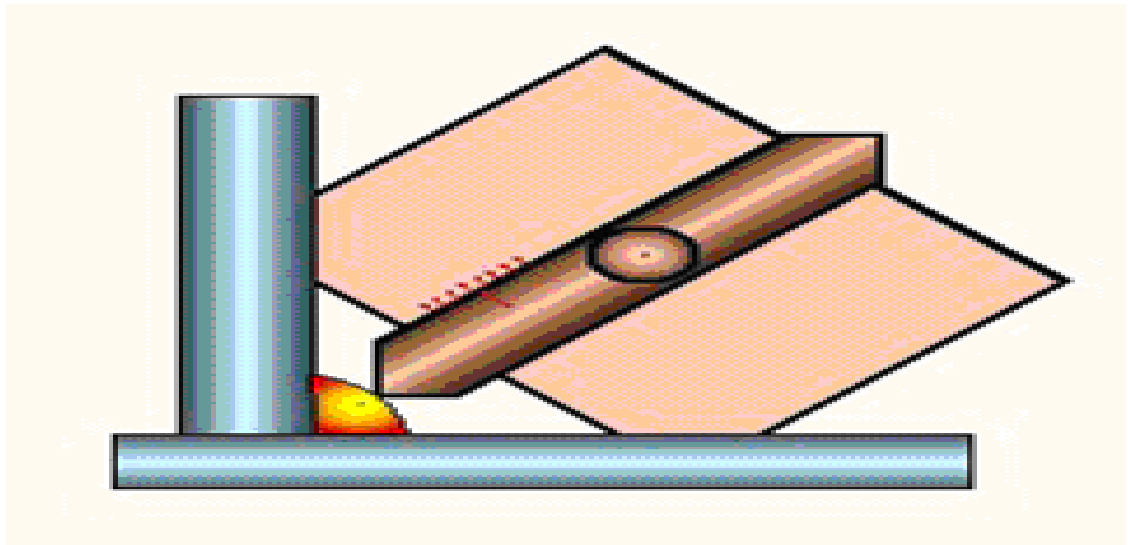


Figure 2 - Exemple de jauges de contrôle

II-4-1-3 Avantage et Inconvénients➤ **Avantage de la méthode :**

La méthode est très simple de mise en œuvre, elle permet de localisation précise des défauts de surface et une appréciation de leur longueur. C'est la seule méthode globale en contrôle non destructif autorisant un examen de la totalité de la surface de la pièce sans influence notable de l'orientation du défaut par rapport à la direction du faisceau de la source utilisée pour l'excitation. Les différentes séquences de la mise en œuvre se prêtent bien à l'automatisation.

- **Inconvénients de la méthode :** la méthode autorise uniquement la mise en évidence des défauts débouchants à la surface de la pièce sur des matériaux non absorbants. L'appréciation de la profondeur des défauts n'est pas possible et l'interprétation dans la phase de révélation reste délicate, en particulier pour l'automatisation.

II-4-2- Le contrôle par ressuage :

Le ressuage est une méthode de C N D qui consiste en la prolongation logique du contrôle visuel. Cette méthode permet de mettre en évidence les discontinuités ouvertes et débouchantes à la surface des matériaux métalliques et de certains matériaux non métalliques, essentiellement non absorbants.

[8]

II-4-2-1- Principe de control

Le ressuage comprend trois étapes (figure3)

- Après un nettoyage soigné, la pièce est soumise à l'action d'un produit qui pénètre dans le défaut par capillarité.
- On procède au rinçage de l'excès du pénétrant à la surface de la pièce.
- Le pénétrant contenu dans le défaut diffuse sur le révélateur appliqué à la surface de la pièce. On observe la tache résultante sous un éclairage adapté.

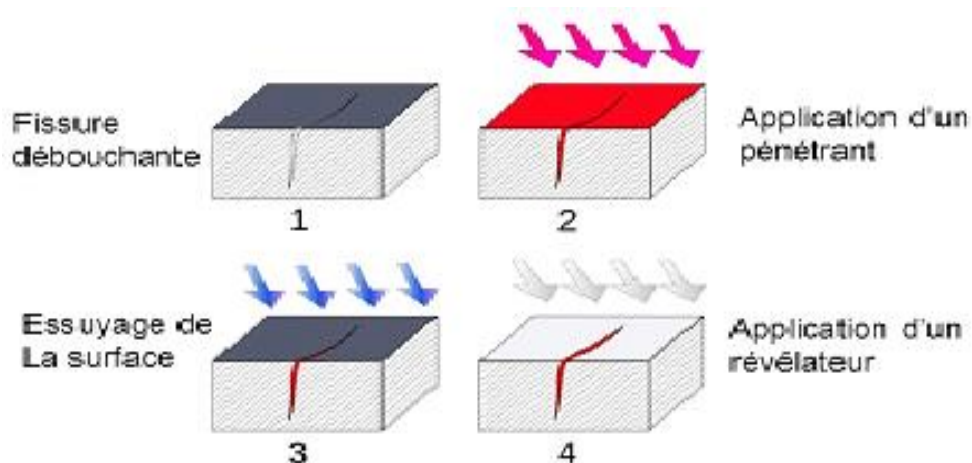


Figure 3 : les étapes ressuage

II-4-2-2- Equipement pour l'essai : (Figure 4)

- pénétrants : solvants + tensioactifs + colorants + Additifs optiques
- émulsifiants : mélange de tensioactifs
- révélateur : poudre très fine + Additifs d'étalement et de nettoyage



Figure 4 : produit d'essai

II-4-2-3- Domaines d'application

- Le ressuage peut s'appliquer à tous les stades de l'élaboration d'un produit ;
- Sa simplicité de mise en œuvre et son coût modique rendent son utilisation très facile ;
- Le ressuage est bien adapté à la détection des fissures de fatigue.

II-4-2-4- Avantages et inconvénients :

Les Avantages :

- Possibilité de ressuage à chaud (240°) ;
- Insensible à l'orientation des indications par rapport à la surface ;
- Simplicité ;

Les Inconvénients :

- Influence de l'état de surface ;
- Nécessité d'un nettoyage de surface avant examen ;
- Pas de dimensionnement précis des défauts en volume ;
- Nocivité des produits ;
- Automatisation de l'interprétation difficile ;
- Influence de l'opérateur ;
- Temps d'opération.

II -4- 3- La magnétoscopie

II -4- 3-1 Définition et principe de la méthode :

Le principe de la magnétoscopie est exposé comme suit: << L'examen magnétoscopie consiste à soumettre la pièce ou une partie de la pièce à un champ magnétique. Les discontinuités superficielles provoquent à leur endroit des fuites magnétiques qui sont mise en évidence par des produits indicateurs déposés à la surface de la pièce. L'image magnétique obtenue est observée dans des conditions qui dépendent du produit indicateur utilisé >>.

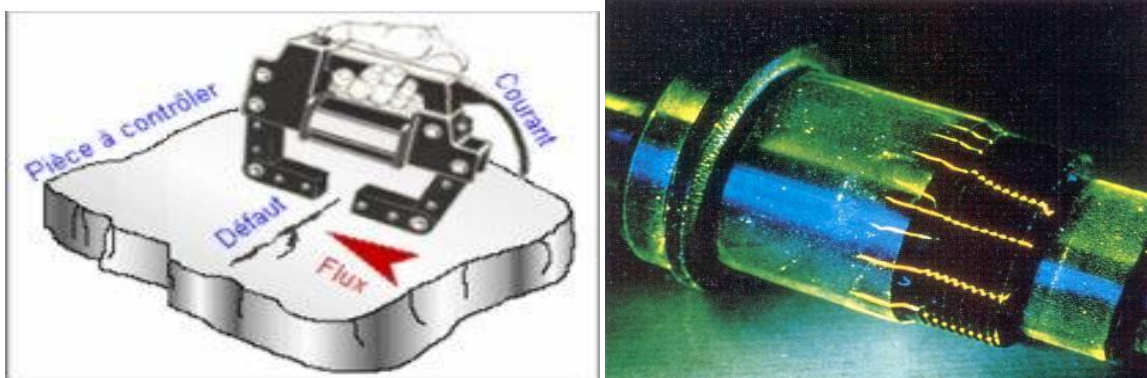


Figure 5 - image d'une pièce contrôlée par magnétoscopie

II-4-3-2- Domaine d'application

- La magnétoscopie s'applique aux matériaux ferromagnétiques.

On peut considérer comme étant ferromagnétique : le fer ; la fonte ; le nickel ; le cobalt ;

Les aciers à 3,5 - 6 et 9% de nickel ; les aciers feritiques à 13% de chrome,...

Application théorique

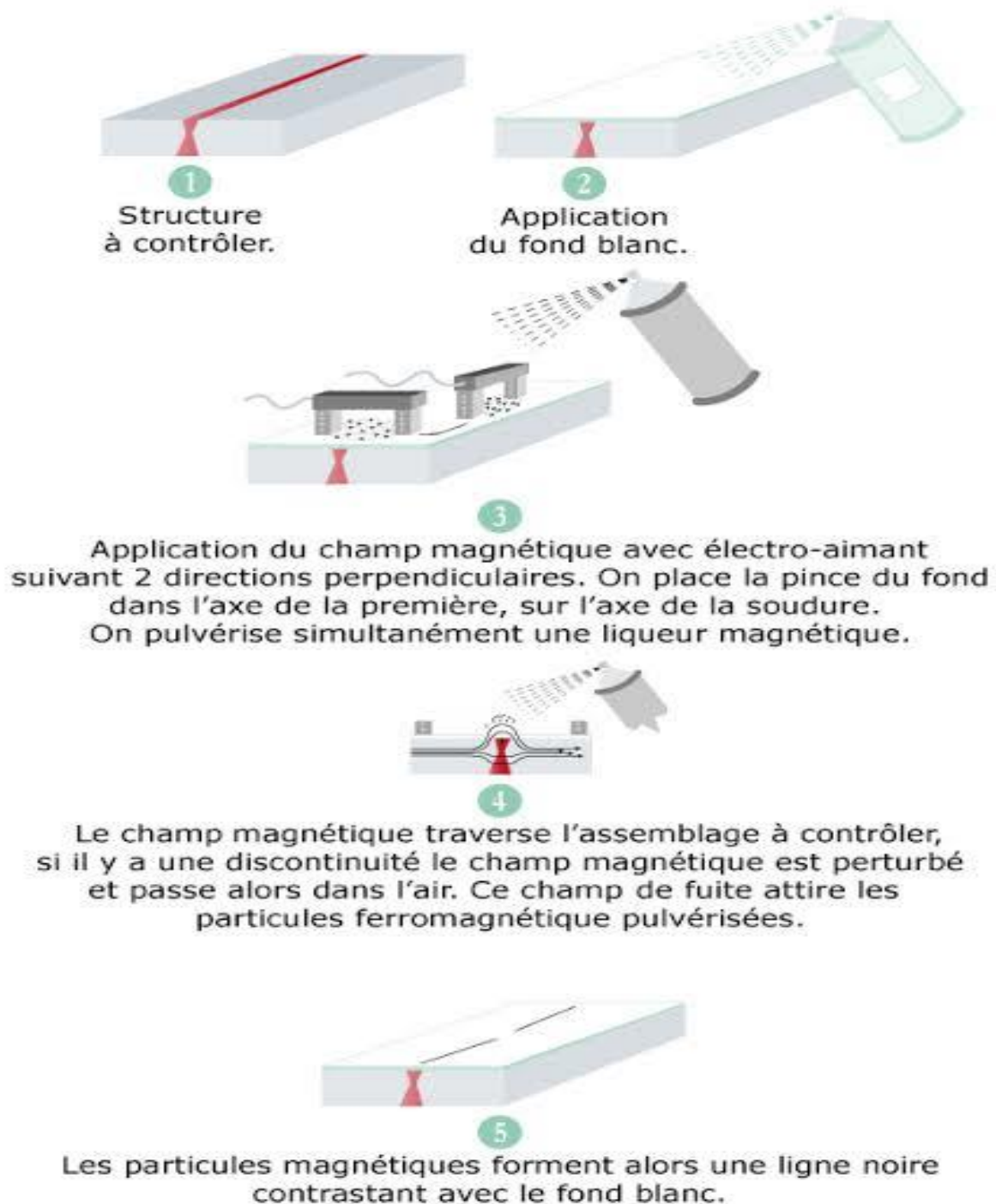


Figure 6 : Application théorique

II-4-3-3 Choix du révélateur

- Poudre (noire, rouge, grise, bleu),
- Révélateurs liquides (noire sure fond blanc, jaune,...)

II -4- 3-4- Caractéristiques des produits :

Il est nécessaire que les particules aient les caractéristiques suivantes :

- Non toxique ;
- Ferromagnétique ;
- Haute perméabilité ;
- Faible rémanence ;
- Couleur contraste par rapport à la surface.

II -4- 3- 5- Avantages et Inconvénients :

Les Avantages :

- La méthode est relativement simple de mise en œuvre. Elle permet une localisation précise des défauts de surface ou légèrement sous-jacentes et une appréciation de leur longueur.
- Les différentes séquences de la mise en œuvre se prêtent bien à l'automatisation

Les Inconvénients : La méthode ne s'applique que sur les matériaux ferromagnétiques et la sensibilité est dépendante de l'orientation du défaut par rapport à la direction générale des lignes d'induction. [3]

II- 4-4- La radiographie industrielle

II-4-4-1 Principe de radiographie industrielle :

Ce contrôle est basé sur l'absorption différentielle du rayonnement X ou gamma. Les différences de rayonnement émergeant de la pièce engendrent sur le film une « image latente » qui sera ensuite révélée par voie chimique.

Le contrôle radiographique des soudures est effectué dans deux chambres a rayon X. le cordon de soudure est visualisé en totalité par radioscope. Toute fois le repérage de défaut est sanctionné par une prise de clichés.

Un marquage indélébile repère l'endroit du défaut. Le contrôle des réparations et des indications de l'ultrason ainsi que les extrémités des tubes est réalisé au niveau de la chambre à radiographie. [2](Figure 7)

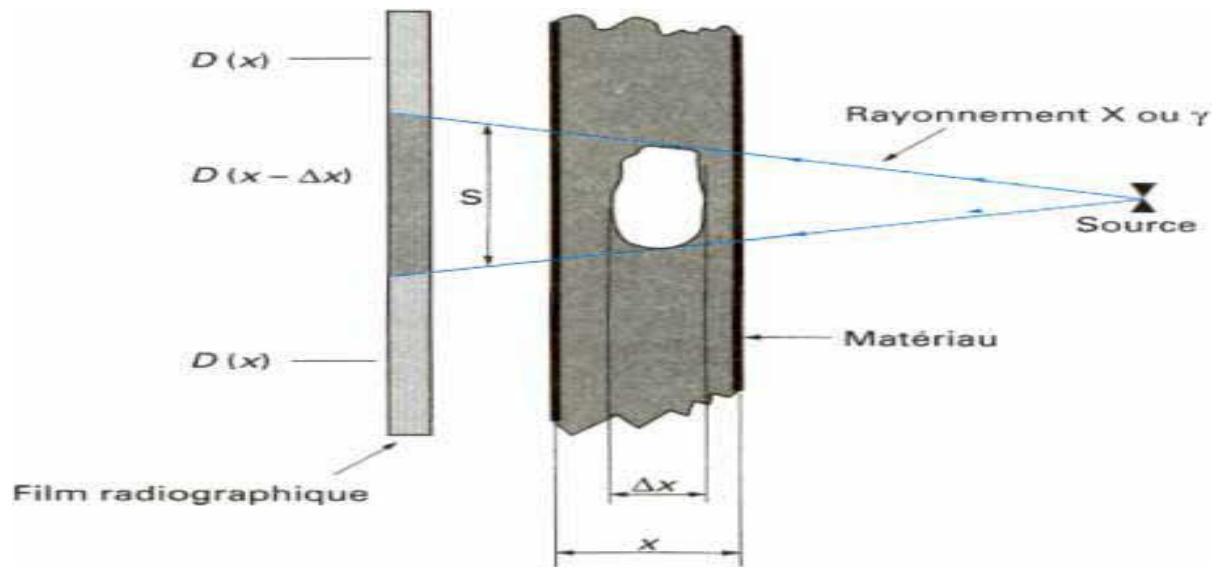


Figure 7 – Impression, sur le film radiographique, de l'image du défaut [4]

II- 4- 4-2- Rayons X : les rayons X sont des ondes dont l'énergie est telle qu'elles traversent la plupart des matériaux et en restituent une image sur un film. [1] (figure 8)

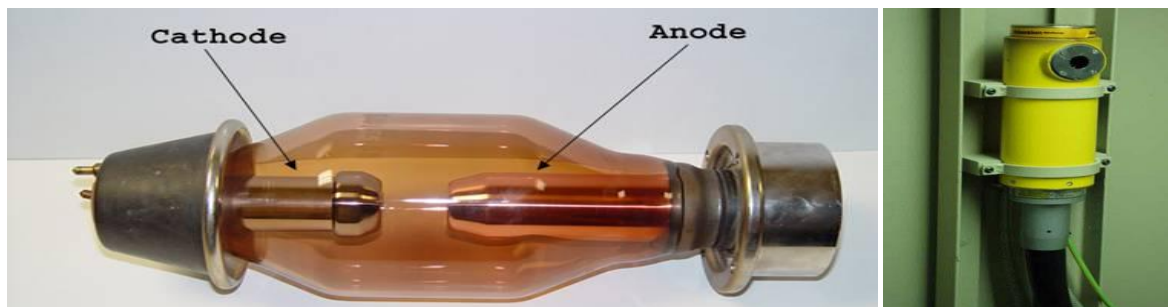


Figure 8 – Tube à rayons X

II- 4- 4-3- Avantages et Inconvénients

Les avantages:

- ✓ Détection des défauts dans le volume de la pièce ;
- ✓ Bonne définition des défauts avec détection de leur nature ;
- ✓ Archivage aisé des résultats.

Les inconvénients :

- ✓ Méthode coûteuse en investissement et développement des films ;
- ✓ Nécessite le respect de règles de sécurité importantes ;
- ✓ Pénétration des rayons limitée par l'épaisseur et la puissance de la source ;
- ✓ Localisation du défaut dans la section non garantie ;
- ✓ Sensibilité fonction de l'orientation du défaut vis à vis de la direction principale du rayonnement

II-4-5- Contrôle par ultrasons :

Le contrôle par ultrasons utilise la propagation d'une onde acoustique dans les matériaux. Une vibration mécanique engendrée par un palpeur émetteur se propage dans la pièce en se réfléchissant sur les faces. Une partie du faisceau est interceptée par le défaut et renvoyée vers un palpeur récepteur qui convertit la vibration en signal électrique. On observe sur l'écran de visualisation un écho caractéristique apparaissant à une distance donnée sur la base de temps.

Ce type de contrôle permet la détection précise de la position des défauts dans le volume de la pièce. [8]

II-4-5-1- Principe de contrôle :

Les ultrasons sont des ondes mécaniques qui se propagent dans les milieux élastiques.

Lorsque ces ondes rencontrent une interface entre deux milieux de nature différente de celle du milieu de propagation, il y a réflexion de tout ou partie de l'onde incidente.

L'énergie réfléchie est captée en surface par l'élément (traducteur) qui lui a donné naissance. Cette énergie mécanique transformée en signal électrique, engendre sur un oscilloscope, une déflexion de la trace horizontale.

II-4-5-2- Différents types d'ondes : (Figure 9)

Les ondes ultrasonores sont essentiellement des vibrations longitudinales, les particules matérielles se déplaçant, par rapport à leur position d'équilibre, parallèlement à la direction de propagation de l'onde, engendrant des fronts de compression-décompression, eux-mêmes perpendiculaires à cette direction. Ce type d'onde se retrouve dans les solides et est d'ailleurs le plus utilisé en pratique.

- Onde de surface ;
- Onde longitudinale ;
- Onde transversale.

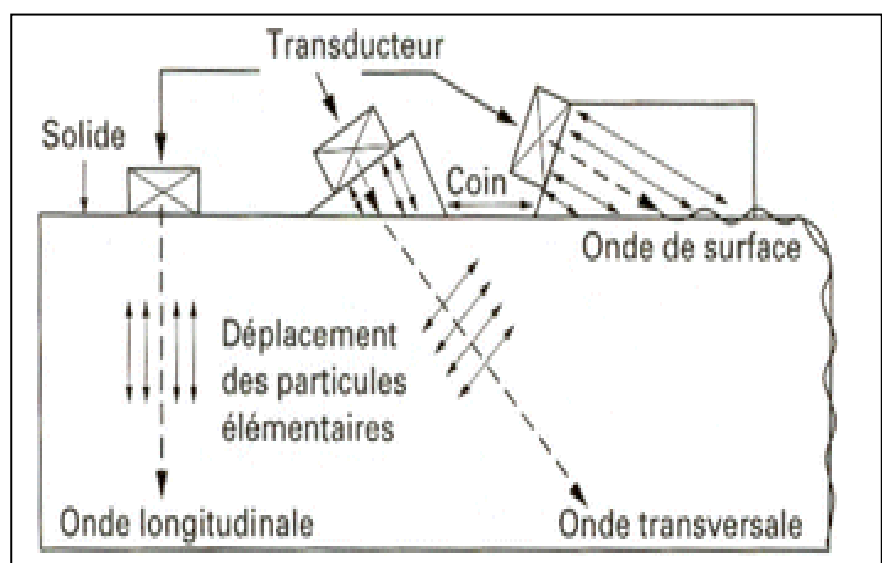


Figure 9 – Types d'ondes et modes de propagation des ultrasons dans un solide[4]

II-4-5-3- Appareillage utilisé

II-4-5-3-1- Les palpeurs :

Le phénomène physique utilisé pour produire les vibrations dans les matériaux est la piézoélectricité.

Il existe plusieurs familles de palpeurs piézoélectriques adaptées aux différents modes d'utilisation :

- Palpeur droit ; (figure 10)
- Palpeur d'angle ;
- Palpeur S E.

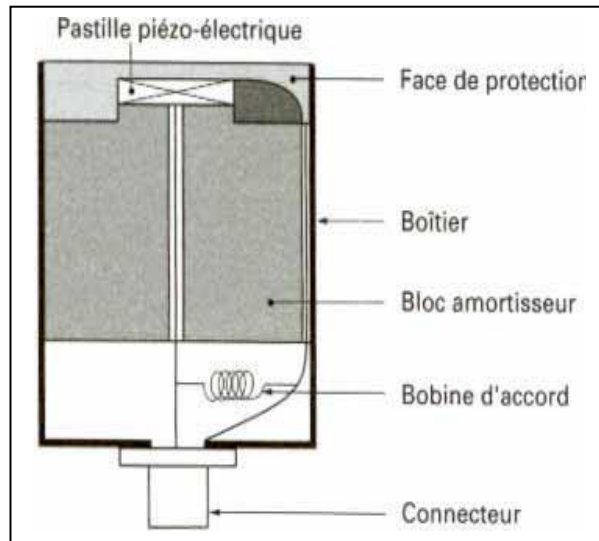


Figure 10 – Structure d'un palpeur droit.

II-4-5-4- Méthodes de contrôle

II-4-5-4-1- Contrôle par écho d'impulsion :

Cette méthode utilise un double palpeur, jouant successivement le rôle d'émetteur et de récepteur (figure 11).

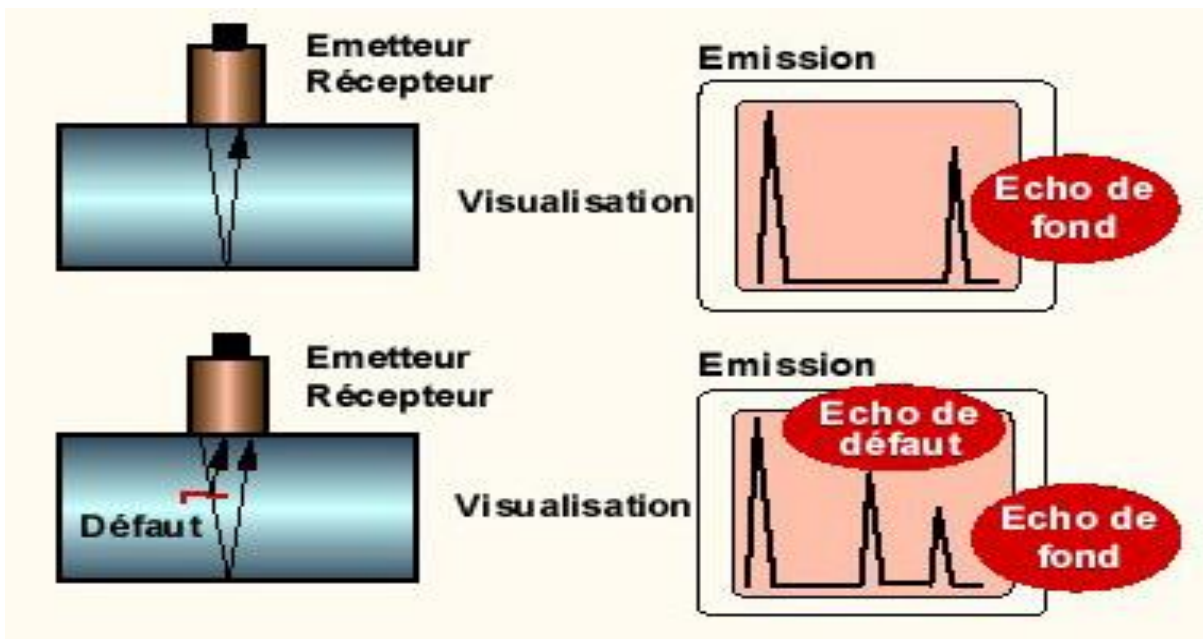


Figure 11 - Contrôle par réflexion

Elle fournit des informations beaucoup plus complètes que la précédente, en particulier sur la position exacte du défaut. La détection du défaut et de sa position se fait par l'apparition d'un écho intermédiaire entre celui d'émission et celui de fond (à condition que le défaut soit correctement orienté).

II -4-5-4-2 - Procédure de contrôle

La mise au point d'un contrôle par ultrasons réclame :

- Le choix du type d'onde et de la direction d'examen ;
- Le choix du palpeur ;
- L'étalonnage ;
- Le choix du balayage ;
- La caractérisation des défauts.

Pour chaque contrôle, il existe un cahier des charges ou une norme à respecter.

II-4-5-5-1- Etalonnage :

La détection et le dimensionnement d'un défaut est généralement basé sur la présence et la hauteur d'un écho de retour. Il faut donc un réglage précis de la méthode, en particulier du niveau d'amplification. Le réglage de cette sensibilité se fait à partir de défauts étalons : du signal de retour.

- Trous à fond plat ;
- Trous observés suivant une génératrice ;
- Echos de fond de pièce.

II-4-5-5-2- Balayage

L'exploration de la pièce doit se faire de façon méthodique, soit en déplaçant le palpeur sur toute la surface, soit en suivant un plan précis de balayage.

II-4-5-5-3- Domaine d'application, Avantages et Inconvénients

➤ Domaine d'application :

- Examen de pièces métalliques (moulées, forgées, usinées, soudées...) à tous stades d'élaboration et d'utilisation (fabrication, maintenance) ;
- Contrôle des cordons de soudure ;
- Caractérisation et contrôle de matériaux composites et de bétons ;
- Contrôle de précontrainte dans les assemblages boulonnés ;
- Mesure de propriétés physiques ou métallurgiques de matériaux ;

• Suivi en service d'installations et de matériels (nucléaire, transports aérien et ferroviaire, pétrochimie...).

➤ **Avantages**

- Grand pouvoir de pénétration (plusieurs mètres dans l'acier forge) ;
- Haute sensibilité de détection de défauts, notamment pour la recherche des défauts plans (dépend de la fréquence de l'onde ultrasonore) ;
- Détection, localisation et dimensionnement des défauts ;
- Inspection et détection en temps réel.

➤ **Inconvénients**

- Sensible à la nature et à l'orientation des défauts ;
- Technique souvent très coûteuse (investissement, temps de contrôle) ;
- Inspection limitée par la complexité de la forme de la pièce contrôlée. [9]

II-5- Conclusion

On peut conclure que le CND présente une importance primordiale pour connaître la qualité des structures mécaniques et des pièces dans les étapes de fabrication, en service et après la maintenance. Plusieurs normes et réglementations impose ce type de contrôle pour des raisons de sécurité surtout pour les appareils sous pression (réservoirs et pipelines). Une application pratique dans l'industrie sera exposée dans le chapitre suivant.

Chapitre III :

Partie expérimentale et applications

Etude expérimentale

On a fait une application expérimentale dans l'entreprise PROMECH pour le contrôle des joints soudés de ses produits.

III-1- Identification de l'entreprise PROMECH :



- **Dénomination :**

Groupe I METAL

Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie « E.N.C.C »

Unité de Production Mécanique et de Chaudronnerie « PROMECH ANNABA »

Siège Social : Zone Industrielle Pont Bouchet BP : 03 El-Hadjar ANNABA-ALGERIE

- **Les activités de PROMECH Unité Annaba :**

- charpente métallique et technologique ;
- chaudronnerie ;
- équipements de cimenterie, sidérurgie, mines ;
- équipements de briqueterie ;
- équipement de travaux publics ;
- équipement de sous traitance ;
- équipements pour stations de traitement d'eau et d'épuration.

Le soudage est le moyen le plus utilisé pour assembler ses pièces.

Donc pour assurer la sécurité et la qualité des produits, le contrôle de soudage est très important.

Dans ce travail on a fait le contrôle par ressuage et par l'ultrason.

III-2- Exemple 1 :

Application du Control Non Destructif par ressuage

Le matériel d'essai: (Figure 1)

- dans notre exemple nous utilisons :
 - ✓ des tubes soudés et qui étaient soumis à un essai hydrostatique (control destructif) ;
 - ✓ les produits d'application ;
 - ✓ une loupe ;
 - ✓ chiffon.



Figure 1 : Le matériel d'essai

Une inspection par pénétrant liquide se fait en six temps schématisés ci-après :

- Premièrement nous avons appliqué le nettoyant pour nettoyer la surface à contrôler de toutes traces de matériaux étrangers solides ou liquides qui risqueraient de gêner l'entrée du pénétrant dans les discontinuités. (Figure 2)



Figure 2 : étape 1

- Ensuite nous appliquons le pénétrant sur toute la surface à examiner, laisser un Temps de pénétration de (15 a 20) min. (Figure3)



Figure 3 : étape 2

- Après on élimine le pénétrant étalé à la surface de la pièce (c'est une phase très délicate: il ne faut pas enlever le pénétrant situé dans les défauts). (Figure 4)

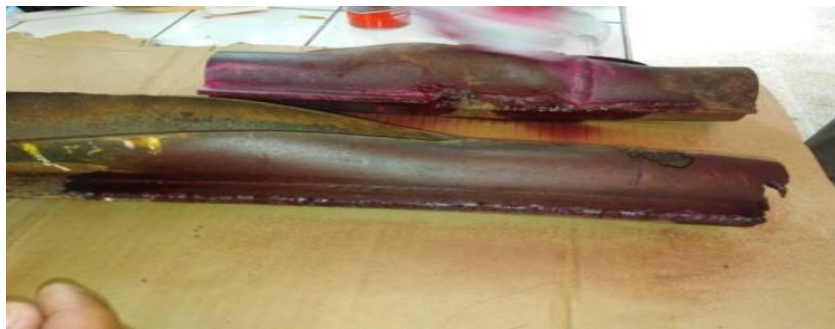


Figure 4 : étape 3

- Après le nettoyage et le séchage de la surface, on applique régulièrement le révélateur sur toute la surface à examiner. (Figure5)



Figure 5 : étape 4

- Enfin nous nettoyons la pièce pour éliminer toutes traces de produits de ressuage.
(Figure 6)



Figure 6 : étape 5

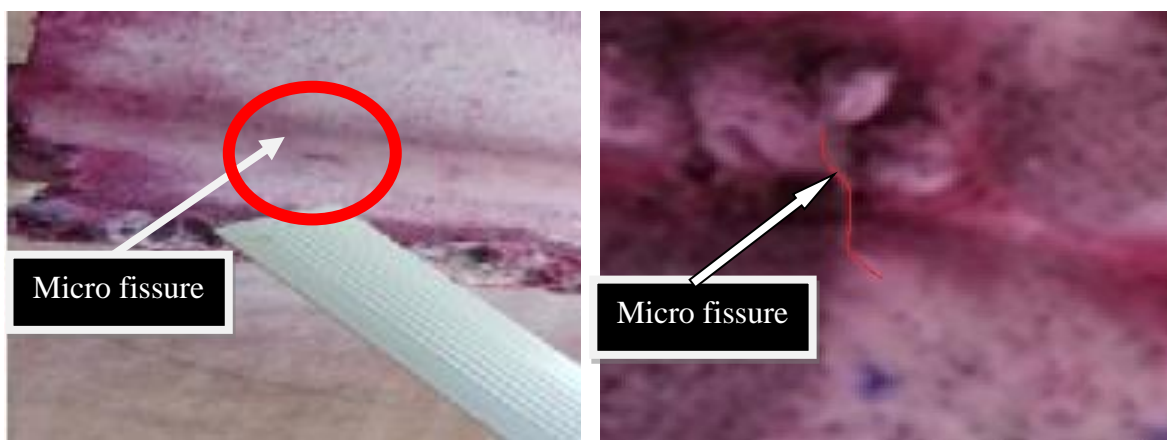


Figure 7 : étape 6

Après l'agrandissement de l'image de notre essai par une loupe on constate qu'il existe des micros fissures sur le cordon de la soudure. Donc on peut conclure que le joint de soudure est légèrement endommagé et qu'il est bon qualité car il a résisté mieux que le matériau de base. Ceci est valable pour les deux tubes. (Figure 7)

III-3- Exemple 2 :

Application du Control Non Destructif par l'ultrason

➤ Le matériel utilisé (Figure8)

- 1-Appareil à ultrasons EPOCH LT ;
- 2- palpeur Droit et Angle 45°et70° technique Par réflexion (E/R) ;
- 3-Blocs d'étalonnages : ISO 2400 cales V1 ;
- 4- Milieu de couplage : Graisses ;
- 5- Métal de base Acier (A 42 CP) ép. 12 mm.



Figure 8 : Le matériel utilisé

➤ Caractéristiques de l'appareil de l'ultrason EPOCH LT : (Figure 9)

- Bande Passante analogique :
0,3 à 20 MHz a -3dB
 - Capacité mémoire :
100 échos/ 2000 épaisseurs ;
 - Fréquence de récurrence
Réglable entre 60 et 360 Hz ;
 - Calibration automatique ;
 - Impulsion d'émission Type Dirac ;
 - Batterie rechargeable ;
 - Grand Ecran ;
- Plus Petit, plus Léger : 1 Kg ;



Figure 9 : l'appareil de l'ultrason EPOCH LT

➡ Les conditions du contrôle : Avant chaque examen de contrôle, on doit respecter quelques informations requises avant l'examen parmi eux on peut citer :

- Méthode d'évaluation des indications : Méthodes par réflexion ou par écho ;
- Contrôle de matière de base : Etat de surface, dimensions et nettoyage et limite la plage de balayage ;
- L'étalonnage de l'appareillage : EPOCH LT ET palpeur ;
- Choix du type de palpeur : palpeur droit et Angle 45° et 70° technique par réflexion (E/R) ;
- Choix de milieux de couplage, Graisses.

➡ **Exécution du contrôle**

Premièrement nous avons fait l'étalonnage de l'appareillage (EPOCH LT et palpeur), (Figure 10)



Figure 10 : étalonnage

Deuxièmement on prend la pièce à examiner et on limite la plage de balayage, ensuite on dépose le couplant entre la pièce et le palpeur en suite a fait le mouvement de palpeur sur tout la longueur de la plage de balayage en deux mouvements avant /arrière et zig zag. (Figure 11)



Figure 11 : balayage

A travers l'écho visualisée sur l'écran on constate seulement deux échos un écho de surface et un seconde écho relatif au fond ce qui implique l'absence de défaut dans le cardan de soudure.

(Figure 12)

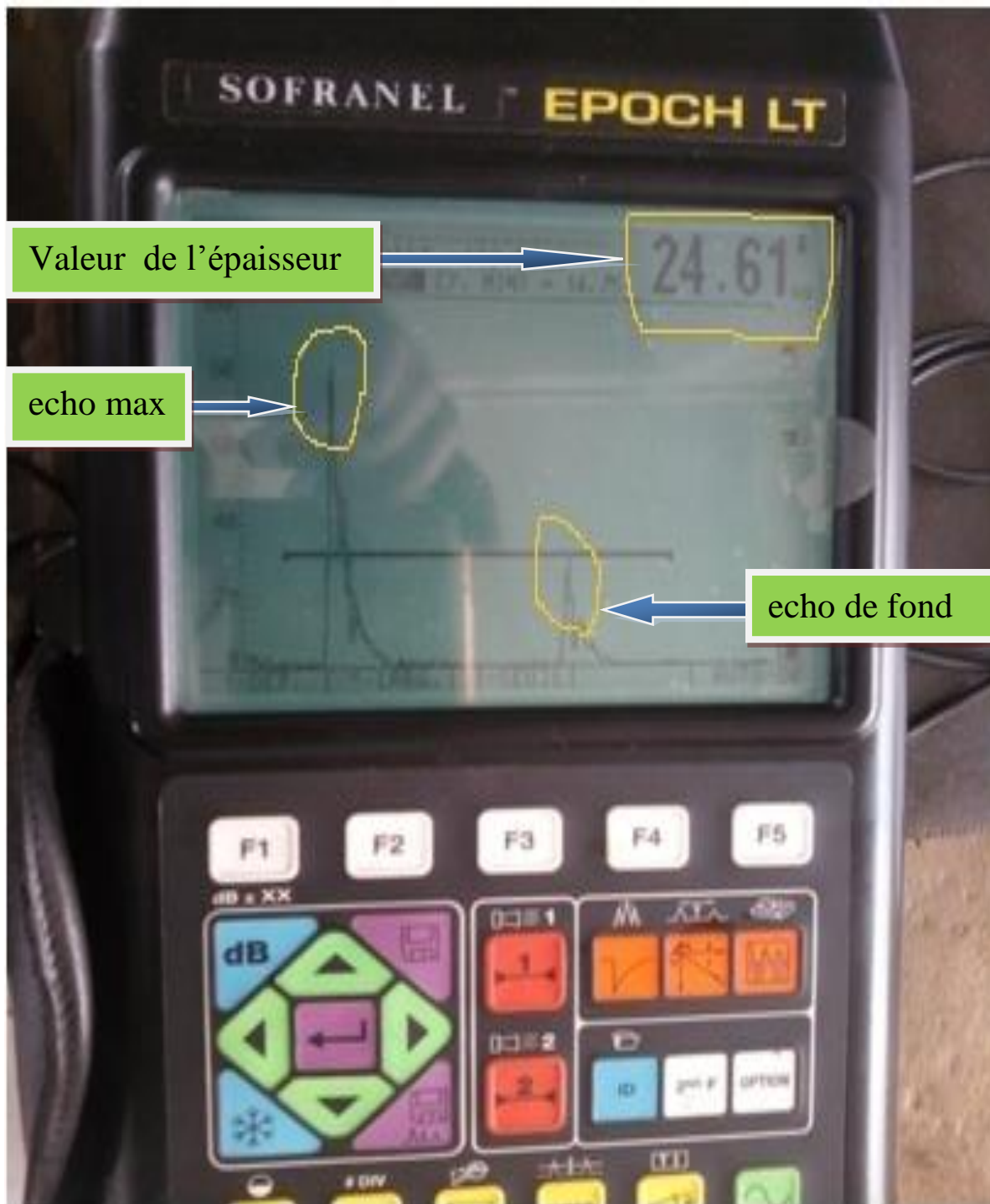


Figure 12 : image d'un test sans défaut

En cas de présence de défaut on remarque la présence d'un pic intermédiaire entre les deux pics (de la surface et du fond de la pièce) ce dernier est appelé le pic de défaut qui détermine la position, la taille et la profondeur de défaut. (Figure 13)

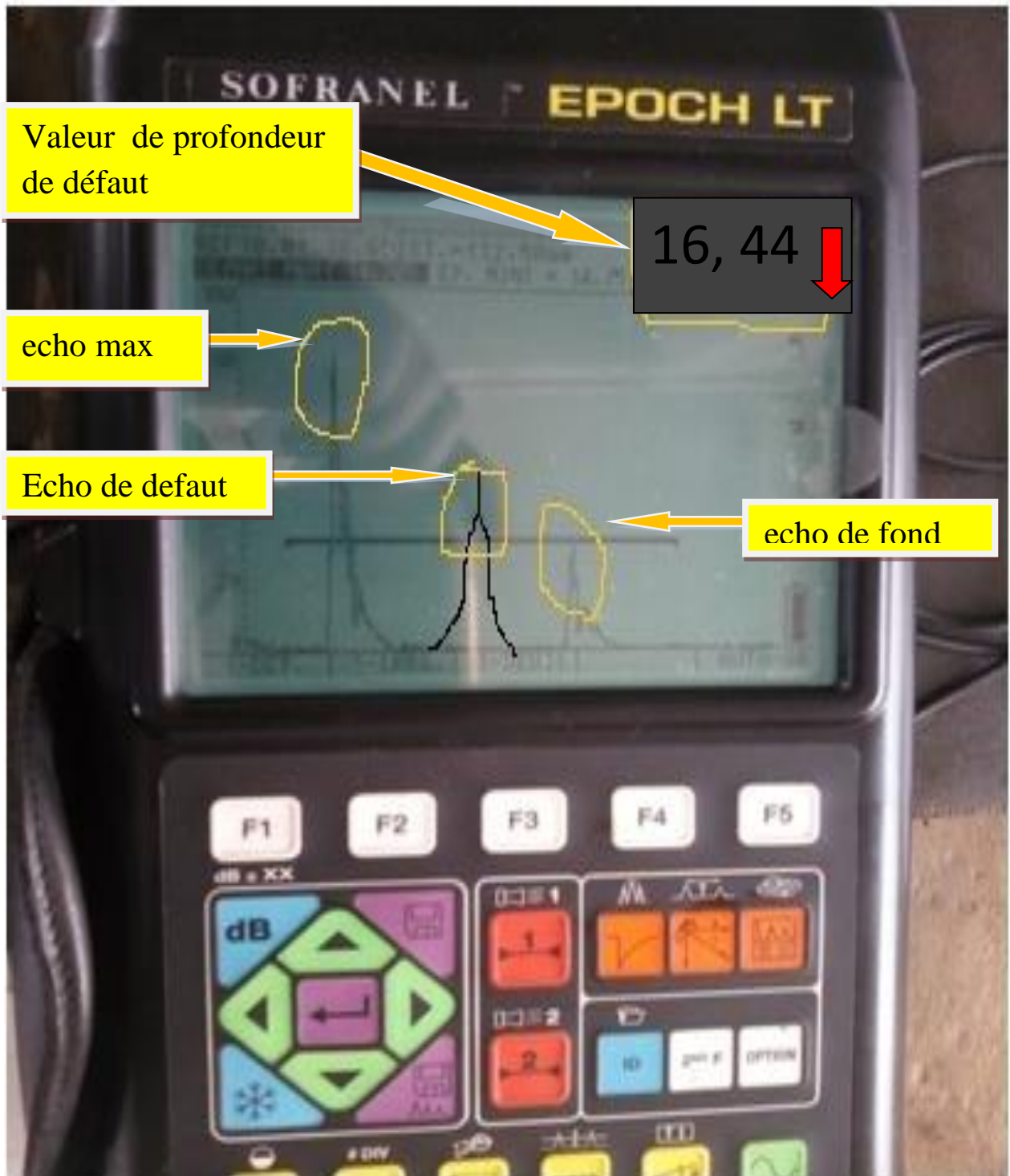


Figure 13: image d'un test avec pic de défaut

III-4- Proposition

Dans cette étude on fait des propositions pour l'entreprise afin de remédier a ces défauts et d'avoir le minimum de défauts dans les joints soudés pour assurer une bonne qualité des produits et une sécurité maximale.

Etant donné que chaque défaut a une ou plusieurs causes et nécessite des remèdes qui dépendent des paramètres liés au procédé de soudage à savoir :

- L'intensité, la tension, la vitesse d'avance, le longueur terminal et l'angle de trainée.



Cependant, la plupart des défauts peuvent être évités si on modifie les paramètres appropriés en cours de soudage.

L'ordre de l'action n'est pas le même. Pour chaque défaut on propose l'ordre suivant de l'action à mener. (Tableau 1)

Tableau 1 : L'ordre des actions à mener

Défauts	correctifs				
	intensité	tension	Vitesse d'avance	Longeur terminale	Angle de trainée
Soufflures	5	1	4	2	3
projections	4	1	5	3	2
Convexité	4	1	5	2	3
Soufflage	4	3	5	2	1
Pénétration insuffisante	2	3	4	1	5
Manque de continuité du bain	4	1	5	2	3
Collage de l'électrode	4	1	5	3	2

Les chiffres indiquent l'ordre dans lequel on devrait envisager les correctifs énumérés.

- Augmenter 
- diminuer 

Conclusion :

Le contrôle par ultrasons est une méthode technologique efficace, parmi ses propriétés, la détection d'un nombre important des irrégularités dans le matériau ou dans un assemblage, ceci dépend de la performance des équipements de contrôle.

Conclusion générale :

Notre travail de fin d'étude de master on a montré des généralités sur le soudage et les principaux défauts de soudage ; On a présenté aussi les principales méthodes de contrôle non destructif, ces techniques de détection des fissures sont nombreuses mais certaines d'entre elles sont coûteuses donc difficiles à réaliser. Les techniques ressuges et ultrasonores sont du moins faisables par rapport aux autres techniques. Par la suite on a développé l'étude par une application pratique de deux méthodes (ressuage et ultrason) pour l'inspection du cordon de soudure.

A la fin de cette étude on fait des propositions pour l'entreprise afin de remédier a ces défauts et d'avoir le minimum de défauts dans les joints soudés pour assurer une bonne qualité des produits et une sécurité maximale. On propose l'ordre de l'action à mener.