

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année : 2011

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

Etude de a fiabilité du métal d'apport lors du soudage des aciers à haute
limite d'élasticité

« Proposition d'un logiciel choix de couple (fil/flux) »

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : MASTER

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

PRESENTE PAR : BELGHOUL HICHEM

BOUBIR AMINE

DIRECTEUR DU MEMOIRE : MR. LAGRED AHMED

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT:

MR. KHELIF RABIA

EXAMINATEURS :

Laissaoui Rachid.

Kalouche Abed El Kader.

Lagred Ahmed.

.



Remerciements

Après avoir remercié le bon Dieu.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre encadreur.

Mr. Lagred .A.

Ce mémoire n'est autre que l'aboutissement de nos efforts guidés

Par vos conseils et votre rigueur.

Nous remercions tous les enseignants du département de génie mécanique.

Nous remercions tous le personnel de l'entreprise ALFA PIPE et particulièrement à

l'ingénieur Mr.Kimeche .T.

Finalement nous tenons à remercier, messieurs les membres du jury qui nous ont

fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail.





Dédicace

*Je dédie ce travail en guise d'amour et d'affection à mes très
chers parents, qui par leurs prières m'ont éclairé
le chemin de la vie.*

A mes frères

Atef,sohaib et à la fleur de ma famille ma petite sœur Narimen.

A tous mes proches.

A mes chères amis (es)

*sans exceptions qui m'ont soutenu dans les
moments les plus difficiles.*

Abla ,Sana,Mohamed,Ramzi,Abed el Haket Faycel.

sans oublier mon binôme

Amine.

A tous ceux qui m'aiment.

Hichem





Dédicace

*Je dédie ce travail en guise d'amour et d'affection à mes très
chers parents, qui par leurs prières m'ont éclairé
le chemin de la vie.*

A mes frères

Ismail, Mohamed cherif et mes soeurs zahira et ouided.

A tous mes proches.

A mes chères amis (es)

*sans exceptions qui m'ont soutenu dans les
moments les plus difficiles.*

sans oublier mon binôme

Hichem.

A tous ceux qui m'aiment.

Amine

.



SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
Présentation de l'entreprise	02

Chapitre I : Fiabilité industrielle

I.1.Introduction.....	05
I.2.Les approches possibles.....	05
I.3.La sureté de fonctionnement (SDF).....	05
I.3.1.Définition de fiabilité (X06-501).....	05
I.3.2.Concepts fondamentaux.....	06
I.4. Lois de fiabilité.....	07
I.4.1.Loi exponentielle.....	07
I.4.2.Loi de poisson.....	08
I.4.3.Loi de LAPLACE –GAUSS.....	08
I.4.4.Loi de WEIBULL.....	08
I.5.Evaluation de la durée de vie basée sur la fiabilité des gazoducs.....	09
I.5.1. Contrainte mécanique.....	09
I.5.2.Modèle de fiabilité.....	09

Chapitre II : Les aciers de construction

II.1.Introduction.....	12
II.2.Définition.....	14
II.3.Propriétés des aciers.....	15
II.3.1.Principaux avantages des aciers.....	15
II.3.2.Les éléments d'alliage.....	15
II.4.Les différents types des aciers.....	16
II.4.1.Aciers non alliés.....	17

II.4.2.Aciers non allies spéciaux (typec).....	17
II.4.3.Aciers faiblement allies.....	17
II.4.4.Aciers fortement allies.....	17
II.4.5.Aciers inoxydables	17
II.4.6.Aciers multiphases..	18
II.5.Propriétés et caractéristiques des aciers.....	18
II.5.1.Le traitement thermo-mécanique.....	18
II.5.2.Le traitement de surface.....	18
II.6.Les aciers à haute limite d'élasticité.....	19
II.6.1.Introduction.....	19
II.6.2.Influence de la composition chimique.....	19
II.6.3.Influence des éléments de substitution.....	19
II.6.4.Influence des éléments formants des précipites.....	20
II.6.5.influence de la perlite.....	21
II.7.Mécanismes de durcissements des aciers HLE.....	22
II.7.1.solution solide.....	22
II.7.2.Précipitation.....	22
II.7.3.Dispersion.....	22
II.7.4.Affinement du grain.....	23
II.7.5.Traitements thermiques.....	23
II.8.Avantage des aciers HLE.....	23
Conclusion.....	23

Chapitre III : Soudage des pipelines

III.1.Introduction.....	24
III.2.Définition d'un pipeline.....	24
III.3. Les matériaux utilisent dans la fabrication des pipes.....	24

III.4.Fabrication des tubes en ALFA PIPE.....	24
III.4.1.Tubes soudés en spirale.....	25
III.4.2 Etude du fonctionnement de la machine à souder.....	26
III.4.3. Processus de soudage sur la machine.....	28
III.5. Définition de soudage.....	29
III.5.1.Définition de la soudabilité.....	29
III.5.2.Aptitude au soudage et critères de soudabilité.....	30
III.5.3.Principaux facteurs qui jouent sur la soudabilité.....	30
III.5.4.Types de joints.....	30
III.5.5.Procédé de soudage sous flux en poudre.....	31
III.6.Les paramètres de soudage.....	32
III.7.Mode opératoire de soudage.....	34
III.7.1.Mode opératoire de soudage (MOS).....	35
III.7.2.Qualification d'un mode opératoire de soudage (QMOS).....	35
III.8.Les différents types de contrôle.....	39
III.8.1.Contrôles destructifs.....	39
III.8.2.Contrôles spécifiques.....	39
III.8.3. Les examens de structure.....	46
III.8.4.Contrôles non destructifs.....	47
III.8.4.1.Contrôles visuels.....	47
III.8.4.2.Contrôle par ultrasons Us.....	48
III.8.4.3.Contrôle par radiographie Rx.....	49
III.9.Les principaux defaults.....	50
Conclusion.....	56

Chapitre IV : Métal d'apport et contraintes résiduelles

IV.1.Principe.....	57
--------------------	----

IV.2.Les produits de soudage.....	57
IV.2.1.Les fils.....	58
IV.2.2.Les flux.....	59
IV.2.3.Symbole relatif aux conditions électriques de soudage.....	61
IV.2.4.Les couples fil/flux.....	61
IV.1.Les contraintes résiduelles.....	64
IV.3.1.Introduction.....	64
IV.3.2.Les contraintes mécaniques.....	64
IV.3.3.Contraintes mécaniques et déformation.....	64
IV.3.4.Contraintes thermiques et déformation.....	65
IV.3.5.Contraintes circonférentielles.....	66
IV.4.Origine des contraintes résiduelles.....	66
IV.4.1.Définition contraintes résiduelles.....	66
IV.4.2.Les différents types de contrainte résiduelle.....	66
IV.4.3.Evaluation des contraintes résiduelles.....	67
IV.4.4.Traitement des contraintes résiduelles.....	68

Chapitre V : Expertise des pipelines.

V.1.Introduction.....	69
V.2.Définition D'expertise.	69
V.2.1.L'expert.....	69
V.2.2.La formation de l'expert.....	69
V.2.3.Classifications de l'expertise.....	69
V.2.3.1.L'expertise publique.....	69
V.2.3.2.Problématisation.....	70
V.2.3.3.Résultats.....	70

V.2.3.4.Actualité de la contribution.....	70
V.3.Fabriquer Une Expertise.....	70
V.3.1.Un organisme d'expertise qui pilote.....	70
V.4.Les Procédures D'expertise.....	71
V.4.1.Procédure Tierce.....	71
V.4.2.Procédure générique.....	71
V.4.3.Des méthodes et des modèles.....	71
V.4.4.Les participants.....	72
V.4.5.L'équipe d'expertise.....	72
V.4.6.Le collectif d'experts.....	72
V.5.Process d' expertise des pipelines.....	72
V.5.1.Diagnostic des pipelines.....	72
V.5.2.Épreuve sous pression.....	73
V.5.3.La lutte contre la corrosion.....	73
V.5.4.Le pistonnage.....	73
V.5.5.Les racleurs instrumentés.....	73
V.6.La protection cathodique d'ouvrages enterres ou immerges.....	74
V.7.Exemple d'une expertise.....	74
V.8.démonstration sur logiciel.....	81
Conclusion générale.....	85
Annexe.....	86
Recommandations.....	87
Référence bibliographique.....	88

Liste des figures

Figure. I.1:la courbe en baignoire.....	07
Figure I. 2 : Importance des variables sur la sécurité du tube en termes de CV de δ_2	11

Chapitre II : Les aciers de construction

Figure II 1 : Elaboration de l'acier.....	14
---	----

Chapitre III : soudage des pipelines

Figure III.1 : Machine à souder.....	25
Figure III.2: Principe de fabrication des tubes soudés en spirale.....	28
Figure III.3 : machine de soudage sous flux en poudre.....	31
Figure III.4 : le soudage en flux en poudre.....	31
Figure III.5: Schéma du procédé paramètres de soudage.....	33
Figure III.6 : influence de l'intensité.....	33
Figure III.7: influence de la tension d'arc.....	34
Figure III.8 : influence de la vitesse de soudage.....	34
Figure III.9 : Machine de traction MOHR et FEDERHAFF.....	41
Figure III.10: Courbe rationnelle de traction du métal de base.....	41
Figure III.11: géométrie et prise de vue de l'éprouvette d'essai de résilience.....	42
Figure III.12 : appareillage d'essai de résilience (flexion en 03 points).....	42
Figure III.13 : Prise de vue des deux éprouvettes après pliage.....	43
Figure III.14: appareille de mesure de Macro dureté.....	44
Figure III.15 : les points de mesure de la dureté selon L'API 5 L.....	44
Figure III.16 : graphe représentatif des différentes duretés mesurées sur les 03 zones (MB, S, ZAT).....	45

Figure III.17: Photographie de l'ensemble mécanique supportant les palpeurs.....	48
Figure III.18 : principe du contrôle ultrasonore par l'onde réfléchie.....	49
Figure III.19 : Principe de contrôle par radiographie.....	49
Figure III.20: illustration d'un défaut de fissure transversal dans un cordon de soudure.....	50
Figure III.21: illustration d'un défaut de soufflure dans un cordon de soudure.....	50
Figure III.20 :Fissure à chaud.....	52
Figure III.21 :Fissure à Froid.....	52
Figure III. 22 : Les Cavités.....	52
Figure III.23 : Inclusions de laitier.....	53
Figure III.24 : Inclusions de laitier.....	53
Figure III.25 : Manque de fusion.....	54
Figure III.26 : Manque de pénétration.....	54
Figure III. 27 :Caniveaux.....	55
Figure III.28 :cordons trop bombés.....	55
Figure III. 29: manque de métal.....	55
Figure III. 30 :default de symetrie.....	56

Chapitre IV :Métal d'apport et contraintes residuelles

Figure IV. 1 : Types de contraintes.....	64
Figure IV. 2 : Pliage dû à la dilatation thermique différentielle.....	66

Chapitre V : Expertise des pipes

Figure V.1 : Tracé de gazoduc Ø 20" Relizen-Mghnia.....	79
Figure V. 2 : Défaut de revêtement localisé par la méthode GVDC.....	79
Figure V.3 : Multitude de points de corrosion de grade 2.....	80
Figure V. 4 : Opération de soudage des demi-coquilles.....	80
Figure V.5 : vue en plan d'un demi manchon boulonnée pour arrêter la fuite de gaz.....	80

Liste des tableaux

Chapitre I : Fiabilité industrielle

Tableau I 1 : Variables aléatoires et paramètres correspondants.....	10
Tableau I.2 : Probabilités de défaillance à 50 ans pour différentes considérations d'incertitude.	11

Chapitre III : soudage des pipelines

Tableau III.1 : Désignation de la machine à souder.....	26
Tableau III.2 : Schéma du procédé paramètres de soudage.....	33
Tableau III.3 : tableau regroupant les caractéristiques mécaniques de X70.....	40
Tableau.4 : Tableau résumant les résultats des essais de résilience.....	42
Tableau III.5 : Tableau Regroupement les duretés des 16 points mesurés.....	44
Tableau III.6 : Composition chimique de l'X70 d'après l'API 5 L	46
Tableau III.7 : caractéristiques mécanique del'X70 selon l'API 5 L.....	47
Tableau III.8 : paramètre de contrôle visuel.....	47

Chapitre IV :Métal d'apport et contraintes résiduelles

Tableau IV 1 : composition chimique de différents fils.....	59
---	----

Introduction générale :

Au cours des dernières années, les entreprises industrielles ont été confrontées à une concurrence de plus en plus rudes.

La mondialisation du commerce et la course au développement, ont poussé les entreprises à chercher des innovations pour être plus concurrentielles.

Notre travail comprend les parties suivantes :

Le chapitre I est une présentation de l'application de la fiabilité dans les PME et PMI.

Le chapitre II est une illustration de processus de l'élaboration de l'acier avec la déduction de l'obtention de l'acier à haute limite d'élasticité (HLE).

Dans le chapitre III nous présentons le procédé de soudage à l'arc sous flux (SAW) automatique à vitesses élevées.

Le quatrième chapitre c'est l'étude de métal d'apport (Fil/Flux) qui est utilisé dans le soudage à l'arc sous flux qui se compose d'un fil submergé dans le flux et qui est choisi selon des paramètres.

Nous proposons une méthode d'expertise pipes pour permettre de détecter les zones à risque et prévoir des opérations de maintenance préventive.

Une proposition d'un logiciel du couple fil/flux permet à l'ingénieur de soudage de choisir le mode opératoire le plus efficace.

Présentation de l'entreprise :

ALFAPIPE est une entreprise spécialisée dans la fabrication des tubes pour canalisations d'hydrocarbures et d'hydrauliques. Elle dispose d'un système management qualité assurant la conformité du produit selon les normes internationales AP1 et ISO9001 depuis 2000.

Tuberie Annaba :

Située à 15 Km d'Annaba ALFAPIPE est spécialisée dans la fabrication de tubes soudés en spirale destinés pour l'industrie des hydrocarbures (gaz et pétrole) et leurs revêtements (extérieur et intérieur). son savoir-faire et son aptitude à répondre aux besoins diversifiés des utilisateurs, est entré dans le concert des grands fabricants de tubes.

C'est aujourd'hui :

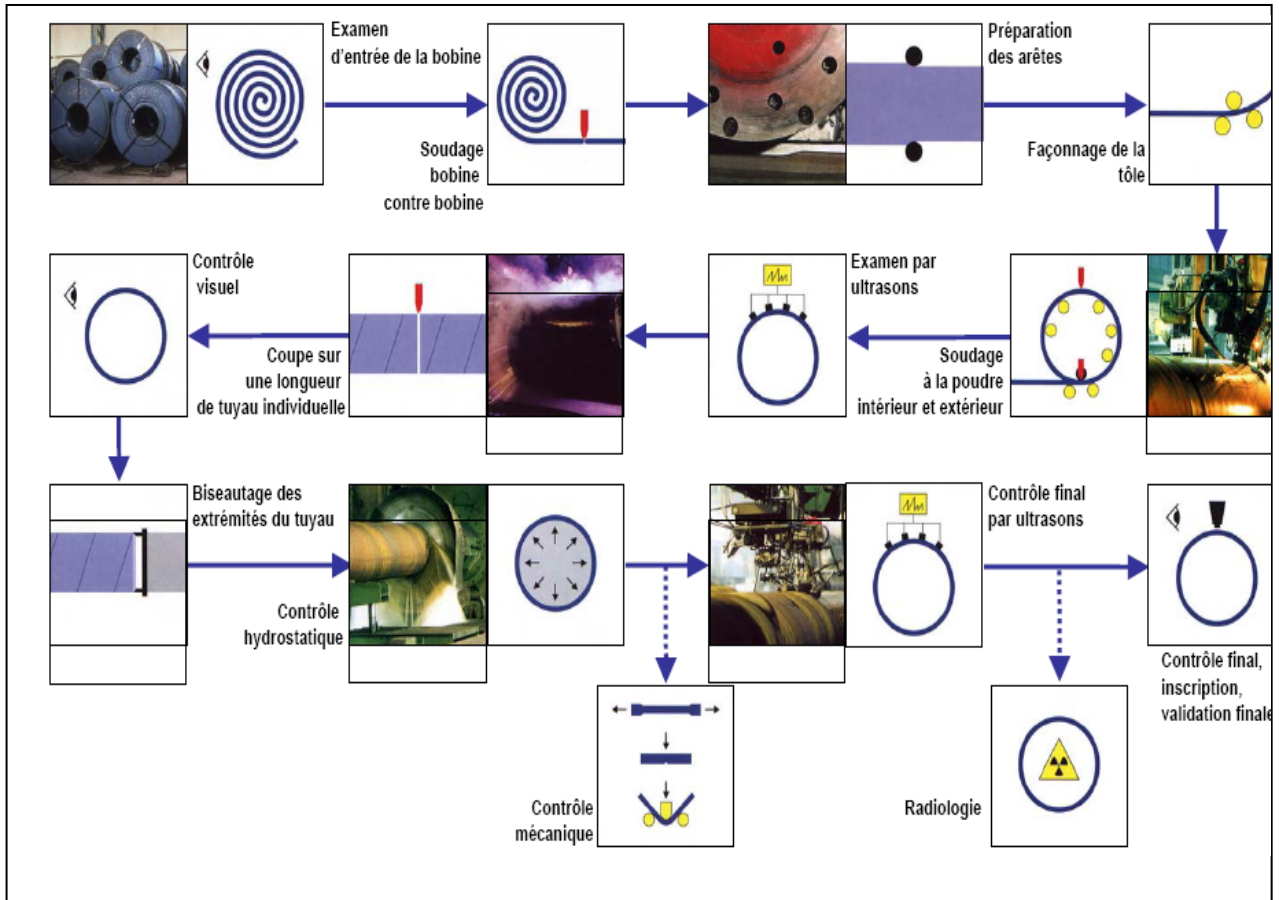
- Une prestation de qualité : un tube revêtu livré sur site pour éviter les aléas de manutention et de stockage intermédiaire.
- Un partenariat actif avec SONATRACH et les compagnies étrangères associées (Thyssen crupp ; Arcelor, Lincoln...etc).
- Une ferme volonté de conforter sa place de leader de production de tubes par la recherche de nouvelles formes d'association et par le renforcement de son processus de modernisation.

Le tube soudé en spirale est obtenu à partir d'un formage à froid d'une bobine d'acier, conformément aux normes API 5L et NFA 49150.

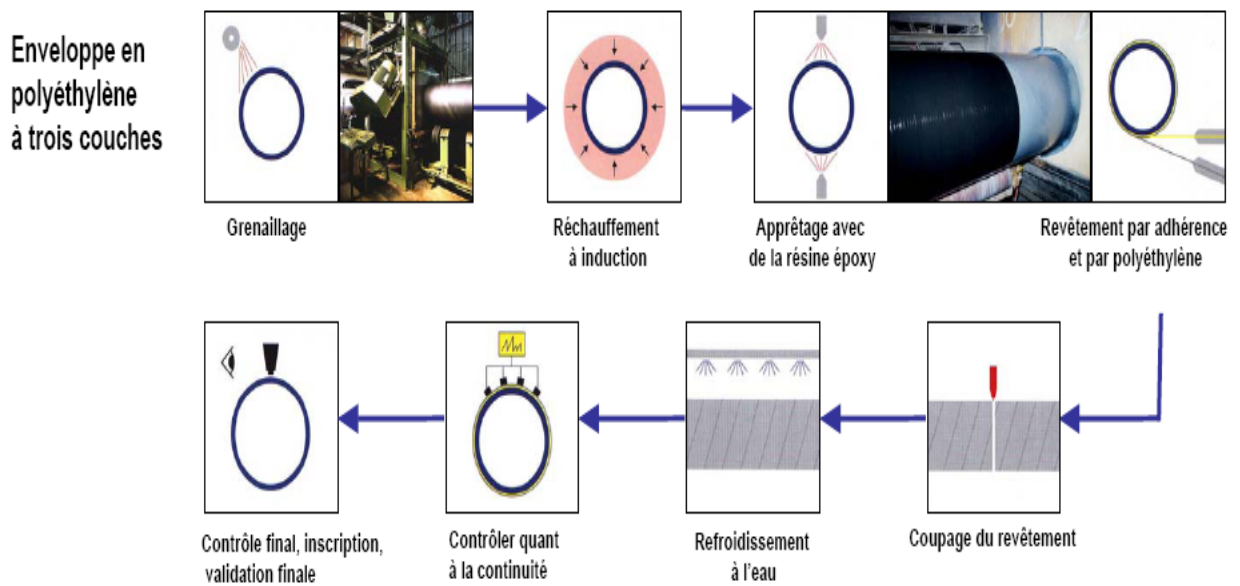
La soudure des bords est faite en automatique à l'arc émergé sous flux, l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur

Cycle de fabrication :

Processus de fabrication de la tuberie :



Processus du revêtement extérieur du tube en tri couches :



Revêtement extérieur :

En polyéthylène en tri couches :

Domaine d'application :

- Canalisation enterrée ou posée en surface.
- Canalisation émergée en eau douce ou salée.

Le revêtement est constitué de :

- Une couche de résine époxydique appliquée par pulvérisation électrostatique de 50-80 microns d'épaisseur.
- Une deuxième couche en copolymère destiné à assurer l'adhérence polyéthylène.
- Une couche de polyéthylène extrudé.

Les avantages du revêtement extérieur en polyéthylène se caractérisent par une grande inertie chimique, une excellente adhérence de revêtement sur le corps de l'acier.

Un apport au réseau d'une résistance fiable vis à vis des sols agressifs et des courants vagabonds.

Revêtement intérieur :

Le revêtement intérieur en résine époxy s'applique sur les tubes destinés au:

- Transport et à la distribution du gaz sec.
- Transport du gaz humide, d'eau potable brute et industrielle.

L'aspect du revêtement est brillant, lisse et répond aux exigences de la norme API RP 51 et au standard AWWC210.

CHAPITRE I : FIABILITE INDUSTRIELLE

I.1. INTRODUCTION :

L'évolution technologique, dès les années 50 (armement, conquête de l'espace, énergie nucléaire, aéronautique etc..) a instauré une nouvelle notion de type de maintenance par rapport aux notions traditionnelles et statiques : la Maintenance fiabiliste.

La maintenance basée sur la fiabilité consiste à définir une stratégie à partir de prédictions fiabilistes, permettant non seulement d'estimer l'espérance de vie d'un système mais également de simuler des scénarios possibles afin d'évaluer l'efficacité de son état.

I.2.LES APPROCHES POSSIBLES :

Les études de fiabilité visant à déterminer le taux de défaillance d'équipements mécaniques en utilisant :

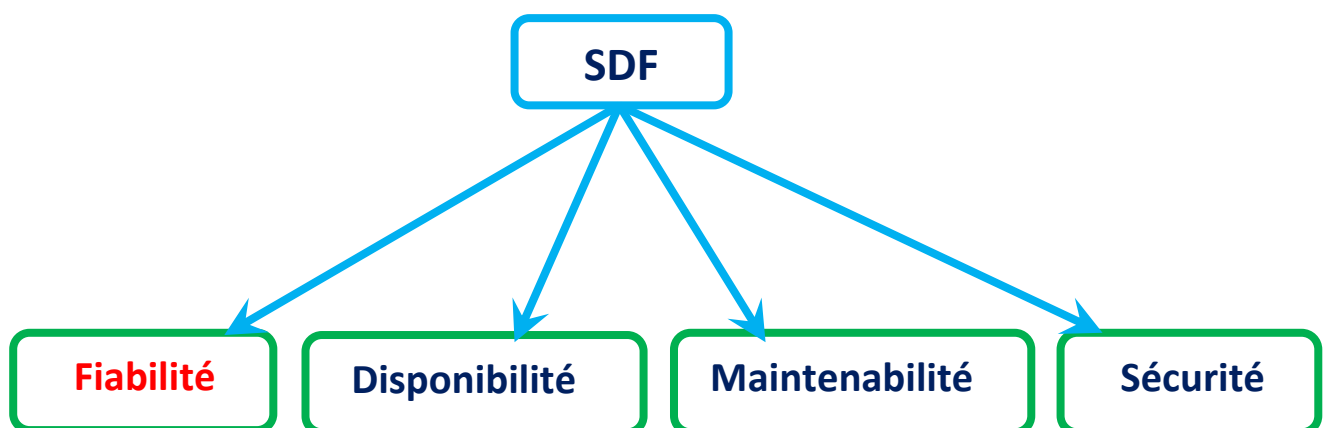
- Les données de retour d'expérience.
- Des résultats d'essais d'endurance ou de qualification.
- La méthode résistance-contrainte,
- Les modèles de calcul spécifiques (exemple : roulements).

Pour la fiabilité mécanique, il est important de bien définir des conditions d'utilisation telles que :

- Nombre d'actionnements ou de cycles.
- Nombre de tours.
- Temps moyen de fonctionnement par an.

I.3.LA SURETE DE FONCTIONNEMENT(SDF):

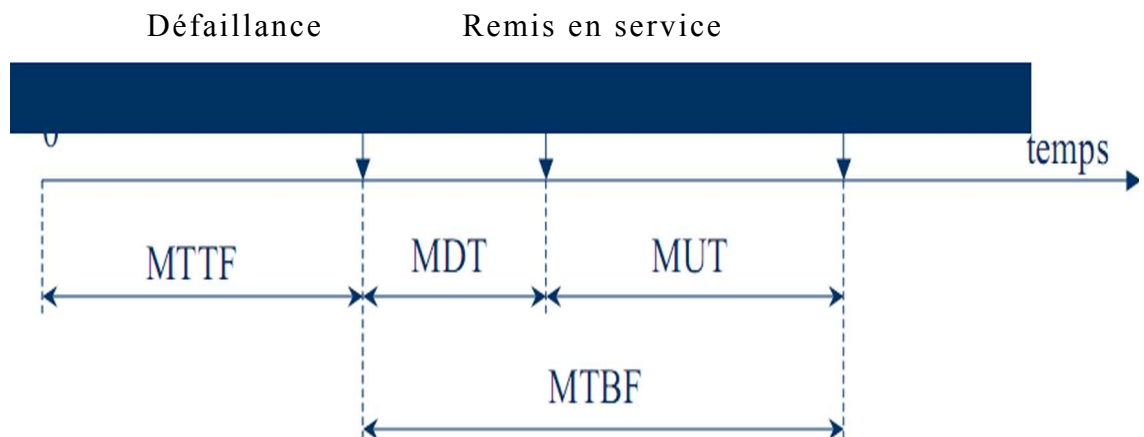
Aptitude d'une entité à satisfaire à une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données.



I.3.1.Définition de fiabilité (X06-501):

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif, exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise, dans des conditions d'utilisation et pour une période déterminée.

Quelques caractéristiques en fiabilité



MTTF : Temps moyen de fonctionnement avant la première panne.

Mean Time To Failure MTTR: Temp moyen de réparation.

Mean Time To Repair MUT: Temps moyen de fonctionnement après réparation (Mean up time).

MDT : Temps moyen d'indisponibilité (détection, réparation, remise en service).

Mean Down Time MTBF : Temps moyen entre 2 défaillances consécutives. (Mean Time Between Failure). [1]

I.3.2. Concepts fondamentaux :

a- Taux de défaillance :

C'est un rapport estimateur de la Fiabilité. Noté souvent $\lambda(t)$ représente une proportion de dispositifs encore opérationnelles à l'instant t.

$$\lambda(t) = \text{Nombre de défaillance} / \text{Durée d'usage.}$$

Il ne doit pas tenir compte des défaillances extrinsèques. A un certain seuil de λ , le dispositif est hors usage. Il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois réparé. La décision de sa réforme ou renouvellement, résulte d'une étude technico- économique, ou on a des grandeurs de taux de défaillance.

Mécanique : $\lambda(t) \sim 10^{-7}$ à 10^{-4} déf/heure.

Electrique : $\lambda(t) \sim 10^{-9}$ à 10^{-6} déf/heure.

Défaillance humain : $\lambda(t) \sim 10^{-4}$ à 10^{-2} déf/heure.

b- Probabilité :

Exprime les chances de réussite de l'accomplissement d'une fonction requise.

c- Accomplissement de la fonction requise :

La fonction doit être définie de façon précise. La fiabilité d'un système dont le rôle n'est pas connu ne peut être évaluée. Il faut connaître le minimum de performances en deçà desquelles le système est considéré comme défaillant. Les contraintes inhérentes aux conditions de fonctionnement doivent être définies sous forme d'un type de mission tenant compte :

- Fonctionnement.

- Environnement.
- Maintenance appliquée.
- Niveau de compétences.

d- La courbe en baignoire :

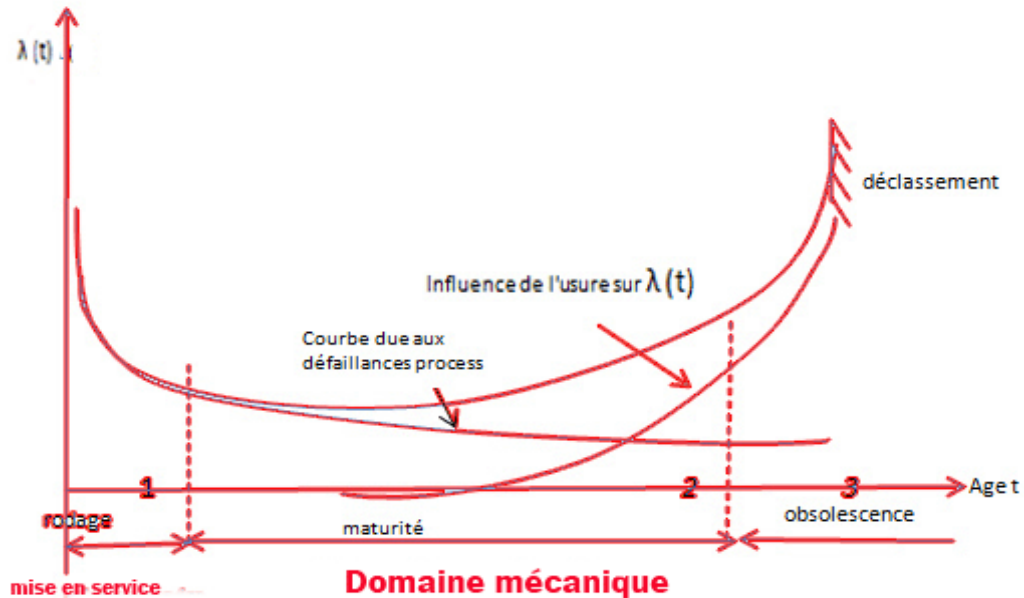


Figure. I.1: la courbe en baignoire.

MTBF : C'est la moyenne des temps de bon fonctionnement.

C'est également un rapport estimateur important de la fiabilité d'un processus. Il correspond à l'indicateur Anglo-Saxon MOTBF (Mean Operating Time Between Failures), il faut éviter la confusion qui résulte du (Mean Time Between Failures) qui signifie : temps moyen entre défaillances.

I.4. LOIS DE FIABILITE :

I.4.1. loi exponentielle :

Elle est fréquemment utilisée, surtout en électronique, car elle permet de réaliser des calculs simples : $\lambda = \text{cte}$ ce qui correspond à la partie centrale de la courbe en « baignoire ».

C'est une loi continue à un paramètre et c'est un cas particulier de la loi de Poisson ($k=1$).

$$\text{Fiabilité : } R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{probabilité de survie entre } 0 \text{ et } t)$$

$$\text{Fonction de répartition : } F(t) = 1 - R(t)$$

$$E(t) = \text{MTBF} = 1/\lambda.$$

Evidemment pour : $t = \text{MTBF}$, la fiabilité $R(t) = 1/e = 0.368 \rightarrow$ une chance de survie $< 50\%$.

$$\text{Variance et écart-type : } V = 1/\lambda^2 \quad , \quad \sigma = 1/\lambda$$

I.4.2.Loi de poisson :

C'est une loi discrète à 2 paramètres de défaillances et permet de calculer(ou déterminer à partir de l'abaque de (MOLINA) la probabilité de constater n et seulement n défaillances pendant un temps t donné.

Cette loi est souvent utilisée dans l'étude d'optimisation du stock de pièces de rechange .Son utilisation nécessite de connaître $\lambda(t)$ pendant la durée déterminée.

La probabilité de constater n et seulement n défaillances pendant un temps t déterminé P (n, t) est donnée par l'abaque MOLINA.

$$P(n, t) = \frac{e^{-\lambda t}}{n!} (\lambda t)^n$$

-La probabilité cumulée d'avoir entre 0 et K défaillances dans l'intervalle du temps [0 et t] est :

$$P(K, t) = \sum_{n=0}^{n=K} \frac{e^{-\lambda t}}{n!} (\lambda t)^n$$

-Défaillances maximum : $m = \lambda(t)$

Cette loi est souvent utilisée dans les études d'optimisation du stock de pièces de rechange. Son utilisation nécessite de connaître $\lambda(t)$ pendant la durée déterminée.

I.4.3.Loi de LAPLACE –GAUSS :

C'est une loi à 2 paramètres : m (moyennes) et σ (écart –type).Elle représente la zone de l'apparition des défaillances de fin de vie d'un équipement ou la zone d'usure de la courbe en « baignoire ».

M=MTBF

Td : date d'apparition d'une défaillance.

T : date prévue pour la maintenance préventive.

Si $td < T \rightarrow$ maintenance corrective.

Si $td > T \rightarrow$ maintenance préventive.

I.4.4.Loi de WEIBULL :

Ingénieur suédois, il ne considère que le taux de défaillance $\lambda(t)$ est variable .Son modèle est pratique et simple .Il permet d'ajuster toutes sortes de résultats expérimentés .Cette loi est intéressante car elle permet justement d'exploiter les périodes de « jeunesse » et de vieillissement de la courbe en « baignoire ».

On utilisé trois paramètre : β paramètre de forme ($\beta > 0$).

η paramètre d'échelle ($\eta > 0$).

δ paramètre de position ($-\infty > \delta < +\infty$).

I.5. Evaluation de la durée de vie basée sur la fiabilité des gazoducs :

I.5.1. Contrainte mécanique

En faisant abstraction de la contrainte résiduelle, la contrainte circonférentielle σ_c , est déterminée par la superposition de trois contraintes principales :

$$\sigma_c = \sigma_{pc} + \sigma_{sc} + \sigma_{tc}$$

Avec :

- ✓ σ_{pc} : la contrainte circonférentielle due à la pression.
- ✓ σ_{sc} : la contrainte circonférentielle due au sol.
- ✓ σ_{tc} : la contrainte circonférentielle due au trafic.

I.5.2. Modèle de fiabilité :

a- Etat limite de conception :

La fonction G (xi) correspond à la marge de sûreté de la durée de vie définie par la différence entre le temps à la rupture et la durée de vie de service requise :

$$G(xi) = t(xi) - t_{service}$$

Où xi sont les variables aléatoires dans le système. Dans cette expression, le temps de rupture dépend des paramètres de la contrainte circonférentielle et du modèle reflétant les propriétés du matériau. Pour évaluer la probabilité de défaillance, on peut appliquer les techniques de Monte Carlo pour produire l'échantillon aléatoire de distribution de la durée de vie du tube. Ce procédé est commode pour l'évaluation des paramètres de distribution, mais il exige un nombre très grand de simulations pour l'évaluation des basses probabilités de rupture, qui est généralement le cas dans la conception. Afin de réduire le temps de calcul, des algorithmes itératifs sont commodément appliqués pour traiter des fonctions d'état limite non- linéaires.

Pour le scénario de défaillance , l'indice de fiabilité β est évalué en résolvant le problème d'optimisation sous contrainte pour obtenir la solution de ce problème, des algorithmes spécifiques de fiabilité ont été employés et combinés avec une procédure de recherche hiérarchique.

b- Incertitudes sur le tuyau :

Les incertitudes du tube sont liées aux états de la géométrie, du chargement, de la fabrication et de service. Sur la base des données de la littérature le (tableau I 1) indique les paramètres statistiques pour les variables aléatoires choisies dans le calcul de la contrainte circonférentielle (équation 1). En raison du manque d'informations, la corrélation entre les variables est supposée négligeable.

Alors que les incertitudes liées au coefficient Cd sont plutôt grandes, les coefficients Kd et Km ont des incertitudes modérées et doivent être choisis pour une situation donnée sur la base d'information imparfaite. Les paramètres géométriques tels que la largeur du fossé B, le rayon du tube R, et l'épaisseur de la paroi H contiennent des incertitudes dépendant des procédures de fabrication, d'exécution et du contrôle de qualité lors de la mise en place du tube. Les paramètres de la pression sont définis par les conditions de fonctionnement. Pour le tube considéré en HDPE avec le diamètre 200mm, la pression du gaz de 0,4 MPa produit une contrainte circonférentielle $\sigma_P = 2,93\text{MPa}$, qui est beaucoup plus élevée que la contrainte due au chargement du sol $\sigma_s = 0,01\text{MPa}$ (pour information, la contrainte de flexion due au trafic est $\sigma_t = 0,06\text{MPa}$) ; c'est pourquoi les contraintes dues au sol et au trafic peuvent être négligées.

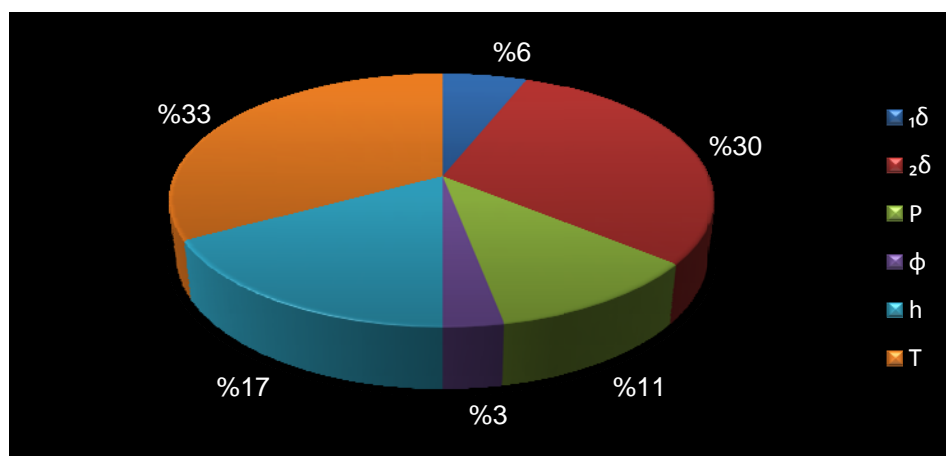
Variable types	symbole	Description	Valeur moyenne	Coefficient de variation
	R	Rayon interne du tube	100 mm ou 6.25 mm	0.02
	H	Epaisseur du tube	11.4 mm	0.05
	B	Largeur du fosse	440 mm	0.10
coefficients	C _d	Coefficient de pression : sol	1.32	0.20
	K _d	Coefficient de déflexion	0.108	0.15
	K _m	Coefficient de débattement	0.235	0.15
	Γ	Densité du sol	1.89.10 ⁻²	0.10
chargement	P	Pression interne	0.2MPa à 0.5MPa	0.10
	T	Température de service	20°C	0.10

Tableau I 1 : Variables aléatoires et paramètres correspondants.

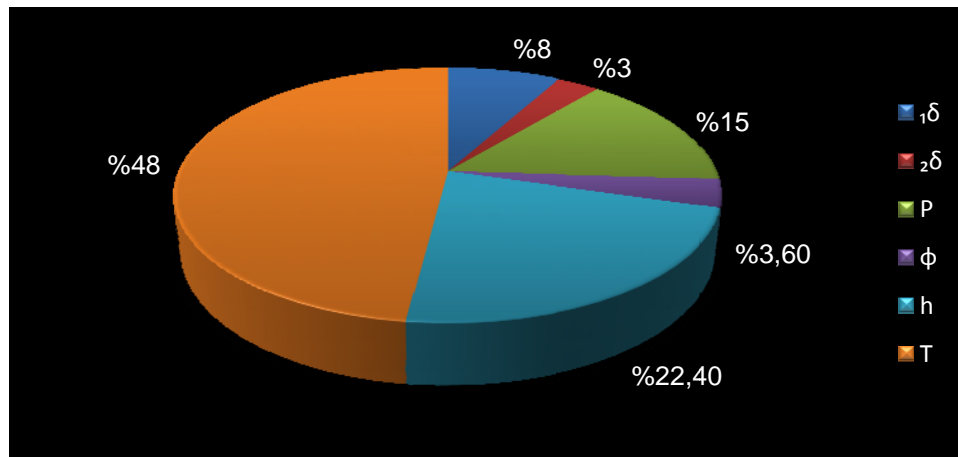
b-Incertitudes sur le tuyau

c-Analyse de la fiabilité des tubes en HDPE :

L'analyse de la fiabilité est effectuée pour un tube en considérant toutes les incertitudes : chargement et géométrie (tableau I 1) aussi bien que les incertitudes sur les paramètres de RPM. Pour le tube d diamètre 125mm à 20°C soumis à une pression de gaz de 0,4MPa, la probabilité de défaillance est $P_f = 10^{-3}$. Si le coefficient de variation du paramètre δ_2 est pris comme 0,004, au lieu de 0,015, la probabilité de défaillance passe à $1,3 \times 10^{-4}$. L'importance de la variable sur la sûreté du tube est illustrée dans la (figure I.2), où la température est la variable la plus importante, suivie du paramètre du modèle δ_2 et de l'épaisseur du tube ; les autres paramètres dans le tableau 2 n'ont aucun effet significatif sur la sûreté du tube. La réduction de la dispersion δ_2 mène à l'augmentation significative de l'importance de la température (de 33% à 48%) et de l'épaisseur (de 17% à 22,4%), aussi bien que la pression de gaz (de 11% à 15%). On observe la même tendance pour les tubes de diamètre 200 mm.



Cv de $\delta_2=0.015$



Cv de $\delta_2=0.004$

Figure I. 2 : Importance des variables sur la sécurité du tube en termes de CV de δ_2 .

Le (tableau I.2) indique les probabilités de rupture à 50 ans pour différentes considérations d'incertitudes, avec les données de probabilité pour la géométrie et le chargement (sol, pression du gaz et température) tirées du (tableau I.1). Quand le modèle et la température sont déterministes, les niveaux de probabilité sont plutôt bas. Cependant, quand les incertitudes du modèle sont considérées, particulièrement avec un coefficient de variation $C\sigma_2=0,015$, la probabilité de défaillance est respectivement multipliée par 10000 et par 10 pour les deux diamètres du pipe (125mm et 200mm). L'introduction des fluctuations de la température multiplie une fois de plus ces probabilités par un facteur d'environ 10. Tandis que pour le diamètre 125mm sous une pression de 0,4MPa, la probabilité de défaillance est encore basse, le diamètre 200mm sous 0,3MPa indique une probabilité de défaillance à 50 ans d'environ 10%, ce qui est extrêmement élevé. Naturellement, ces résultats doivent être considérés avec une attention particulière comme ils dépendent fortement des modèles probabilistes adoptés. L'acquisition des incertitudes sur le modèle à long terme nous permet d'améliorer une telle évaluation, mais le manque d'informations pratiques sur le comportement in-situ à long terme demeure toujours la difficulté principale. [3]

Cas	Géométrie (Tableau 1)	Chargement (Tableau 1)	Modèle		Température	Ø125mm (0,4MPa)	Ø 200mm (0,3MPa)
1	Aléatoire	Aléatoire	Déterministe		Déterministe	$4,2 \times 10^{-9}$	$4,9 \times 10^{-3}$
2	Aléatoire	Aléatoire	$c\delta_1=0,004$	$c\delta_2=0,004$	Déterministe	$2,1 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-2}$
3	Aléatoire	Aléatoire	$c\delta_1=0,004$	$c\delta_2=0,015$	Déterministe	$7,7 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-2}$
4	Aléatoire	Aléatoire	$c\delta_1=0,004$	$c\delta_2=0,004$	$cT=0,1$	$1,3 \times 10^{-4}$	$5,5 \times 10^{-2}$
5	Aléatoire	Aléatoire	$c\delta_1=0,004$	$c\delta_2=0,015$	$cT=0,1$	$9,9 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-2}$

Tableau I. 2 : Probabilités de défaillance à 50 ans pour différentes considérations d'incertitude.

CHAPITRE II : LES ACIERS DE CONSTRUCTION

II.1. INTRODUCTION :

L'acier a été découvert très tôt dans l'histoire car sa matière première est abondante (minerai), et qu'il est facile à travailler. L'acier « de base » est de fait peu onéreux. Matériau par excellence de la révolution industrielle, c'est celui qui a été le plus étudié. Il existe de nos jours de nombreuses nuances aux propriétés très diverses.

a-Le fer est extrait du minerai dans un haut fourneau à l'aide d'un combustible, le coke :

Minerai et coke solide sont enfournés par le haut. L'air chaud (1200⁰C) insufflé à la base provoque la combustion du coke. L'oxyde de carbone ainsi formé va réduire les oxydes de fer, c'est-à-dire leur prendre leur oxygène et, ainsi, isoler le fer. La chaleur dégagée par la combustion fait fondre fer et gangue où la gangue, de densité moindre, flotte sur un mélange à base de fer: la fonte.

b-Le carbone et les résidus de la fonte sont éliminés à l'aciérie par soufflage d'oxygène :

La fonte liquide est versée dans un convertisseur avec de l'acier usagé qui fait fonction de matière complémentaire, c'est le point d'entrée du recyclage. Parmi ces ferrailles, on compte chaque année 200 millions de boîtes acier qui reviennent, après usage, dans le cycle de fabrication.

c-Le métal est purifié :

Sa composition chimique est affinée au moyen d'additifs utiles au bon déroulement des futures opérations de transformation et aux propriétés voulues par l'acier : aluminium et manganèse.

d-L'acier liquide est ensuite transformé en ébauches solides, "les brames" :

Cette opération se déroule à l'aciérie dans la machine de coulée continue : l'acier liquide est versé dans des moules rectangulaires, d'où il sort en continu, ayant formé une peau solide. Il arrive au bas de l'installation, solidifié à cœur, sous la forme d'un épais ruban d'acier immédiatement tronçonné aux longueurs voulues.

e-Les brames sont transformées en fines bandes de tôle :

Dirigées vers le laminoir à chaud, elles sont réchauffées à 1200⁰C et amincies par écrasements successifs entre des cylindres. Au final, l'épaisseur de la bande d'acier est de 1,2 à 5 mm, soit 200 fois moins épaisse que la brame. Un second laminage, à froid cette fois-ci, est réalisé pour mettre l'acier à l'épaisseur voulue par le client. De nouveau écrasé et étiré, son épaisseur est encore divisée par 10 et peut atteindre jusqu'à 0,09 mm dans le cas de l'acier pour emballage.

f-Le recuit de la bande de tôle :

Un traitement thermique à 800⁰C va rendre au métal, durci par le laminage à froid, toute sa malléabilité et le rendre ainsi apte à la mise en forme (emboutissage, roulage, estampage).

j-L'étamage :

Pour devenir métal de l'emballage, l'acier va subir une ultime opération : pour protéger l'acier de l'oxydation, la bande est revêtue en continu d'une fine couche d'étain par un procédé d'électrodéposition. L'étain donne à l'acier, telle une feuille de papier glacé, une imprimabilité exceptionnelle. Depuis toujours. L'étain est utilisé dans l'alimentaire, par exemple pour la fabrication d'articles de vaisselle. [4]

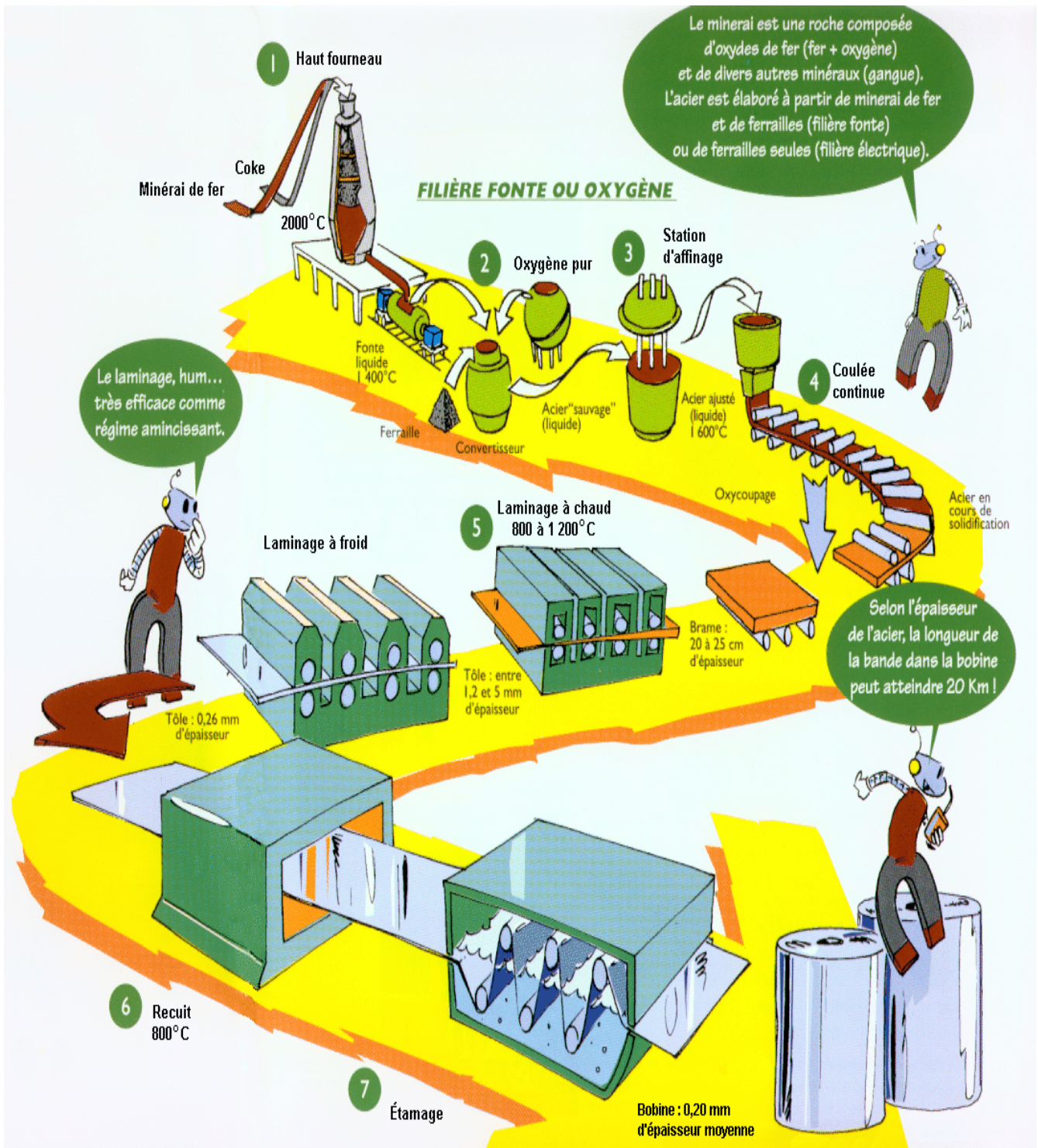


Figure II 1 : Elaboration de l'acier.

II.2.DEFINITION DE L'ACIER :

L'acier est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. L'acier est constitué d'au moins deux éléments, majoritairement le fer puis le carbone dans des proportions comprises entre 0,02 % et 1,67 % en masse. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ».

II.3.PROPRIETES DES ACIERS :

Les aciers sont élaborés pour résister à des sollicitations mécaniques ou des agressions chimiques ou une combinaison des deux. Pour résister à ces sollicitations et/ou agressions, des éléments chimiques peuvent être ajoutés en plus du carbone. Ces éléments sont appelés éléments d'additions, les principaux sont le manganèse (Mn), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le molybdène (Mo).

Les éléments chimiques présents dans l'acier peuvent être classés en 3 catégories :

- **Les impuretés** : originellement présentes dans les ingrédients de haut fourneau qui serviront à produire la fonte qui servira à fabriquer l'acier. Ce sont le soufre (S) et le phosphore (P) présent dans le coke mais aussi le plomb (Pb) et l'étain (Sn) qui peuvent être présents dans les aciers de récupération ainsi que nombre d'autres éléments à bas point de fusion comme l'arsenic (As), l'antimoine (Sb) .
- **Les éléments d'addition** : mentionnés plus haut et qui sont ajoutés de manière intentionnelle pour conférer au matériau les propriétés recherchées.
- **Les éléments d'accompagnement** : que l'aciériste utilise en vue de maîtriser les diverses réactions physico-chimiques nécessaires pour obtenir en final un acier conforme à la spécification. C'est le cas d'éléments comme l'aluminium, le silicium, le calcium.

II.3.1.Principaux avantages des aciers :

L'acier est le métal le plus facile à souder, car on peut utiliser avec lui toute la gamme des procédés de soudage. Dans l'ère industrielle, c'est l'acier qui a le plus bénéficié du soudage. L'aluminium et le titane ont commencé à se souder plus tard et conviennent moins bien à ce procédé. L'aluminium, par exemple, est moins facilement soudable, car il faut enlever la couche d'alumine réfractaire qui se forme naturellement à sa surface et prendre les précautions nécessaires pour éviter sa reformation durant le soudage. Même chose pour le titane, qui est très fortement oxydable. Certains alliages sont d'ailleurs non soudables.[5]

II.3.2.Les éléments d'alliage :

- **Le carbone** : a une importance primordiale car c'est lui qui, associé au fer, confère à l'alliage le nom d'acier. Son influence sur les propriétés mécaniques de l'acier est prépondérante. Par exemple, en ce qui concerne l'amélioration de la propriété de dureté, l'addition de carbone est trente fois plus efficace que l'addition de manganèse.
- **L'aluminium** : excellent désoxydant. Associé à l'oxygène, réduit la croissance du grain en phase austénitique. Peut rendre l'acier inapte à la galvanisation à chaud.
- **Le chrome** : c'est l'élément d'addition qui confère à l'acier la propriété de résistance mécanique à chaud et à l'oxydation (aciers réfractaires). Il joue aussi un rôle déterminant dans la résistance à la corrosion lorsqu'il est présent à une teneur de plus de 12 à 13 % (selon la teneur en carbone). Additionné de 0,5% à 9% il augmente la trempabilité (famille des aciers au chrome). Il a un rôle alpha gène.

- **Le cobalt** : utilisé dans de nombreux alliages magnétiques. Provoque une résistance à l'adoucissement lors du revenu.
- **Le manganèse** : forme des sulfures qui améliorent l'usinabilité. Augmente modérément la trempabilité.
- **Le molybdène** : augmente la température de surchauffe, la résistance à haute température et la résistance au fluage. Augmente la trempabilité.
- **Le nickel** : rend austénitiques (rôle gamma gène) les aciers à forte teneur en chrome. Sert à produire des aciers de trempabilité modérée ou élevée (selon les autres éléments présents), à basse température d'austénitisation et à ténacité élevée après traitement de revenu. C'est l'élément d'alliage par excellence pour l'élaboration des aciers ductiles à basses températures (acier à 9% Ni pour la construction des réservoirs cryogéniques, acier à 36%Ni dit INVAR pour la construction des cuves de méthaniers).
- **Le niobium** : même avantage que le titane mais beaucoup moins volatil. Dans le domaine du soudage il le remplace donc dans les métaux d'apport.
- **Le phosphore** : augmente fortement la trempabilité. Augmente la résistance à la corrosion. Peut contribuer à la fragilité de revenu.
- **Le silicium** : favorise l'orientation cristalline requise pour la fabrication d'un acier magnétique, augmente la résistivité électrique. Améliore la résistance à l'oxydation de certains aciers réfractaires. Utilisé comme élément désoxydant.
- **Le titane** : pouvoir carburigène élevé (comme le niobium) et réduit donc la dureté de la martensite. Élimine le carbone en solution à haute température et réduit le risque de corrosion intergranulaire (TiC se forme avant $Cr_{23}C_6$ évite donc l'appauvrissement en chrome au joint de grain).
- **Le tungstène** : améliore la dureté à haute température des aciers trempés revenus. Fonctions sensiblement identiques à celles du molybdène.
- **Le vanadium** : augmente la trempabilité. Élève la température de surchauffe. Provoque une résistance à l'adoucissement par revenu (effet de durcissement secondaire marqué).

II.4.LES DIFFERENTS TYPES DES ACIERS :

II.4.1.Aciers non alliés :

Ils sont destinés à la construction soudée, à l'usinage, au pliage on distingue :

- Le type S qui correspond à un usage général de base (construction de bâtiment...).
- Le type E qui est utilisé dans la construction mécanique.

La désignation de ces aciers comprend la lettre du type d'acier suivi de la valeur de la limite élastique (R_e) en méga-pascal (MPa). S'il s'agit d'un acier moulé, la désignation est précédée de la lettre G. La désignation peut être complétée par des indications supplémentaires (pureté, application dédiée...).

Exemples :

- S185 (anciennement A33), $R_e = 185$ MPa.

- E295 (anciennement A50), $Re = 295$ MPa.
- GE295, acier moulé, $Re = 295$ MPa.
- S355 J2 WP, $Re = 355$ MPa, à grain fin et auto-patinable (c'est l'acier Corten A).

II.4.2. Aciers non alliés spéciaux (type C) :

Leur composition est plus précise et plus pure et correspond à des usages définis à l'avance. Leurs applications courantes sont les forêts (perceuses), ressorts, arbres de transmission, matrices (moules). Leur désignation comprend la lettre C suivie de la teneur en carbone multipliée par 100. S'il s'agit d'un acier moulé, on précède la désignation de la lettre G.

Exemples :

- C45, acier non allié comportant un taux de 0,45 % de carbone .
- GC22, acier moulé non allié comportant un taux de 0,22 % de carbone.

II.4.3. Aciers faiblement alliés :

Aucun élément d'addition ne dépassant 5 % en masse, ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance.

Exemples de désignation normalisée :

- 35NiCrMo16 : contient 0,35 % de carbone, 4 % de nickel, du chrome et molybdène en plus faible teneur. Cet acier présente une bonne tenue aux chocs ainsi qu'une haute résistance mécanique jusque 600 °C ;
- 100Cr6 : 1 % de carbone et 1,5 % de Chrome. C'est l'acier typique utilisé dans les roulements à billes.

II.4.4. Aciers fortement alliés :

Au moins un élément d'addition dépasse les 5 % en masse, destinés à des usages bien spécifiques, on y trouve des aciers à outils, réfractaires, maraging (très haute résistance, utilisés dans l'aéronautique).

Un exemple de désignation normalisée : X2CrNi18-9 (c'est un acier inoxydable).

Les aciers rapides (High speed steels, HSS) font partie de cette famille.

II.4.5. Aciers inoxydables :

Ces aciers présentent une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud et au fluage (déformation irréversible). Ils sont essentiellement alliés au chrome, élément qui confère la propriété d'inoxidabilité, et au nickel, élément qui confère de bonnes propriétés mécaniques. Les aciers inoxydables sont classés en quatre familles : ferritique, austénitique, martensitique et austéno-ferritique. Les aciers inoxydables austénitiques sont les plus malléables et conservent cette propriété

à très basse température (-200 °C). Leurs applications sont multiples : chimie, nucléaire, alimentaire, mais aussi coutellerie et équipements ménagers. Ces aciers contiennent au moins 10,5 % de chrome et moins de 0,12 % de carbone.

II.4.6. Aciers multiphasés :

Ces aciers sont conçus suivant les principes des composites : par des traitements thermiques et mécaniques, on parvient à enrichir localement la matière de certains éléments d'alliage. On obtient alors un mélange de phases dures et de phases ductiles, dont la combinaison permet l'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques. On citera, par exemple :

- les aciers Dual Phase qui sont la déclinaison moderne de l'acier damassé, mais où la distinction entre phase dure (la martensite) et phase ductile (la ferrite), se fait plus finement, au niveau du grain ;
- Les aciers duplex formés de ferrite et d'austénite dans des proportions sensiblement identiques ;
- les aciers TRIP (Transformation Induced Plasticity), où l'austénite se transforme partiellement en martensite après une sollicitation mécanique. On débute donc avec un acier ductile, pour aboutir à un acier de type Dual Phase.
- les aciers damassés où des couches blanches ductiles pauvres en carbone absorbent les chocs, plus riches en carbone, garantissent un bon tranchant.

II.5. PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES DES ACIERS :

L'acier est un alliage essentiellement composé de fer, sa densité varie donc autour de celle du fer (7,32 à 7,86), suivant sa composition chimique et ses traitements thermiques. La densité d'un acier inoxydable est typiquement un peu supérieure à 8. Par exemple, la densité d'un acier inoxydable de type AISI 304 (X2CrNi18-10) est environ 8,02.

Ils ont un module de Young d'environ 210 000 MPa, indépendamment de leur composition. Les autres propriétés varient énormément en fonction de leur composition, du traitement thermo-mécanique et des traitements de surface aux quels ils ont été soumis.

II.5.1. Le traitement thermo-mécanique : c'est l'association :

- d'un traitement thermique, sous la forme d'un cycle chauffage-refroidissement (trempe, revenu...).
- d'un traitement mécanique, une déformation provoquant de l'écrouissage (laminage, forgeage, tréfilage...).

II.5.2. Le traitement de surface :

Consiste à modifier la composition chimique ou la structure d'une couche extérieure d'acier. Cela peut être :

- une réaction en phase liquide (chromisations, carburation, nitruration en bain de sel, galvanisation...);
- une réaction en phase gazeuse (nitruration en phase liquide).
- une projection d'ions (implantation ionique).
- un recouvrement (peinture, émail). [6]

II.6.LES ACIERS A HAUTE LIMITE D'ELASTICITE :

II.6.1.Introduction :

Le laminage à chaud est une technique puissante de mise en forme dont les applications sont très variées. Une grande majorité des matériaux métalliques est soumise à un formage par laminage au cours de son cycle de fabrication. Bien que le mot laminage évoque plus spécifiquement les produits plats, de nombreux autres procédés de laminage sont utilisés pour obtenir d'autres géométries (fils, ronds, barres, tubes, rails, etc.).

Le laminage à chaud a donc une position importante parmi les diverses technique de mise en forme et ne cède le pas que pour des applications particulières qui révèlent d'autres techniques telles que le forgeage, le filage...

II.6.2.Influence de la composition chimique :

Les aciers à haute limite d'élasticité (HLE) sont des aciers micro alliés au niobium, au vanadium, et au titane. Les autres éléments principaux entrant dans la composition chimique de ces aciers sont : le Carbone, le Manganèse, l'Aluminium, le Silicium, et le Molybdène.

Ils sont également communément connus sous le nom des aciers à dispersoïdes relativement aux éléments formant des phases d'insertion stable (Nb, V, Ti). Les principaux constituants structuraux de ces aciers sont : la ferrite, la perlite, et les phases secondaires qui des carbures, des nitrures et des carbonitrures des éléments dispersives. Les HLE sont généralement laminés à chaud et s'emploient à l'état brut de laminage ou à l'état amélioré pour les constructions soudées et les pipelines. Selon la norme américaine API ils sont classés en plusieurs grades : X42 ,X46 X52, X56,X60, X70,X80....

II.6.3.Influence des elements de substitution :

- **Le manganèse :**

En raison de ces propriétés, le manganèse se trouve, en plus au moins grande qualité, dans presque tous les aciers, il joue un rôle déterminant lors de l'élaboration de l'acier. Il participe à la désoxydation, réagit avec le soufre (donc désulfurant), évitant ainsi la fissuration à chaud, pendant la fusion de l'acier. Il absorbe les gaz, détruit les oxydes se trouvent dans le bain en fusion en forte dose et contribue ainsi à la formation d'un métal dense et sans soufflures et régissant l'état inclusionnaire du métal. Il intervient sous multiples formes :

- Il abaisse la teneur en carbone à l'eutectoïde.
- Il durcit la ferrite en solution solide et modifie la solubilité du carbone et de l'azote dans cette phase.

- Il empêche la formation des carbures inter granulaires fragilisant.
- Il élargit le domaine de métastabilité de l'austénite et retarde donc le début de la transformation en conditions isothermes aussi bien dans le domaine ferritique que dans le domaine bainitique.

C'est un élément efficace pour la trempabilité, surtout si on veut éviter un grossissement du grain ou un accroissement du taux d'austénite résiduelle.

- Il a un effet favorable sur la résistance à la rupture.
- Il diminue la susceptibilité au vieillissement après écrouissage car il abaisse les températures auxquelles se produit la transformation.

Dans le cas des aciers à haute limite d'élasticité (acier au Nb, V), sa teneur est de l'ordre de 1.5%, il à fixer le soufre sous forme de MnS insoluble dès la solidification.

- **Le silicium :**

Il se rencontre à faible teneur dans les aciers, il est alors utilisé comme désoxydant.

A plus forte teneur, il augmente la résistance à l'oxydation et confère certaines propriétés particulières (perméabilité meilleure). Il durcit l'acier, mais l'empêche de souder. Les aciers contenant le Si et le Mn sont appelés mangano-siliceux, ils ont la faculté de présenter après traitement thermique un taux élevé d'allongement élastique.

Leur résilience est bien meilleure que celle des aciers au carbone, ils supportent une trempe énergétique sans risque d'éclatement moléculaire. L'effet durcissant du silicium en solution solide est aussi fort que celui du manganèse, de plus le silicium augmente la trempabilité que l'on doit contrôler pour améliorer la soudabilité (la teneur limite dans le cas des aciers à dispersoïdes au Nb-V est de l'ordre de 0.3%).

- **Le molybdène :**

C'est un élément alpha gène qui tend à former des carbures et qui augmente largement la capacité de trempe des aciers. Il repousse vers la droite le domaine perlitique en affectant peu la position du domaine bainitique, le molybdène est donc particulièrement favorable à l'obtention des structures bainitiques. A teneur équivalente, sa contribution est supérieure à celle du chrome.

II.6.4.INFLUENCE DES ELEMENTS FORMANTS DES PRECIPITES :

- **L'aluminium :**

C'est surtout un désoxydant, le rôle du nitrure d'aluminium, qui inhibe le grossissement du grain austénitique, est bien connu. L'aluminium comme le chrome, augmente la résistance à l'oxydation des aciers, il peut intervenir dans certains processus de durcissement (effet durcissant).

- **Le vanadium :**

En faible proportion, cet élément augmente la dureté des aciers sans diminuer leur allongement ni leur résilience, c'est un désoxydant énergétique qui améliore la qualité de l'acier. Une teneur en vanadium de 0.5 à 0.7% suffit pour transformer les propriétés d'un acier.

La résistance à la traction et à la fatigue est sensiblement augmentée et l'acier est moins sujet aux tangles de trempe. Cet élément élève la température, pour éviter des plages douces après traitement.

Les carbonitrides du vanadium sont mis en solution à une température proche de 1000°C et ne peuvent donc pas empêcher le grossissement du grain austénitique.

Leur précipitation a lieu en partie dans l'austénite et en partie en ferrite.

- **Le niobium :**

Ce métal résiste à la plupart des aciers, il est ajouté sous forme d'alliages ferreux appelés ferro-niobium, plus faciles à introduire à la fusion. Il a été révélé qu'en ajoutant dans des aciers à bas taux de carbone une faible proportion (0.1%) de niobium, on élève avantageusement la limite d'élasticité, cette amélioration est due au fait que la métal présente un grain plus fin que l'acier de carbone de même nuance, et que ce résultat a été obtenu, dans des produits laminés beaucoup plus économiquement avec le niobium que tout autre méthode. La résistance de ces produits permet une réduction du poids et une économie de 20 à 30%. Ils sont livrés sous forme des tôles, barres et peuvent être améliorés davantage par traitement thermique et ils présentent une bonne soudabilité.

Il est utilisé pour :

- Freiner la recristallisation de l'austénite en solution solide.
- Former des précipités lors de la transformation austénite-ferrite.

Cette précipitation a un effet durcissant mais également fragilisant. La présence des carbonitrides (carbures) du niobium non dissout freinent le grossissement du grain austénitique avant écrouissage.

- **Le titane :**

Il forme des carbonitrides (carbures), il permet de fixer l'azote. Il se combine avec le soufre en donnant naissance des sulfures non déformés. L'emploi de cet élément demande des précautions car il a tendance à former gros précipités de nitrures qui ne se dissolvent pas, d'où la difficulté d'éviter la fragilisation. Il a un effet durcissant à l'état brut de laminage ; il freine la recristallisation dans l'austénite ou dans la ferrite ; il sert à affiner les grains lors d'une normalisation.

II.6.5.Influence de la perlite :

La présence du carbone confère aux aciers leurs propriétés. Le carbone n'a pas besoin d'être ajouté comme addition, mais il doit être réglé à la valeur désirée. Le carbone en solution a un effet durcissant important :

- La quantité de perlite est proportionnelles à la teneur en carbone et dépend des éléments d'alliage en solution solide ; elle augmente fortement la résistance de l'acier, mais son effet est bien moindre sur la limite d'élasticité, environ deux à trois fois moins.

- Le rôle du carbone sur la résistance à la rupture fragile est très important car les lamelles de cémentite servent à la fois de défauts d'amorçage et pour la propagation des clivages.

II.7.MECANISMES DE DURCISSEMENTS DES ACIERS HLE :

A fin de satisfaire à toutes les exigences liées aux multiples applications de l'acier, celui-ci doit présenter un grand nombre de caractéristiques alliées à un bas prix de revient.

L'emploi d'aciers de construction ayant des caractéristiques améliorées constitue le seul moyen pour alléger les constructions, de même le rendement des machines dépend dans une large mesure de la résistance de leur éléments les fortement sollicités.

Des améliorations peuvent être apportées aux caractéristiques des différentes façons suivantes :

- Par solution solide.
- Par précipitation.
- Par dispersion.
- Par affinement de grain.
- Par écrouissage.
- Par traitement thermique.

II.7.1.Solution solide :

Quand ils ne réagissent pas avec le métal de base, les atomes d'éléments d'alliage peuvent soit occuper des sites naturels dans le réseau de la matrice (en formant des solutions solides de substitution), soit s'insérer entre ces sites(en formant une solution solide d'insertion). La distorsion du réseau qui en résulte le rend plus dur.

Le durcissement peut aussi être dû du fait que ces atomes de soluté se logent de préférence au voisinage de défauts réticulaires (lacunes et dislocations), dont le mouvement est ainsi ralenti. Il semble une solution solide d'insertion provoque un durcissement plus important qu'une solution solide des substitutions, car elle entraîne des distorsions du réseau plus importantes.

II.7.2.Précipitation :

Il y'a durcissement par précipitation lorsque les éléments d'alliages réagissent avec le carbone ou l'azote. Les précipités formés s'apposent aux mouvements des dislocations ou tout au moins ralentit ces mouvements.Ces composés peuvent précipiter de façon cohérente (auquel cas les distorsions du réseau sont importantes et effectuent fortement la résistance et la fragilité) ou de façon non cohérente (auquel cas l'effet est plus faible, en raison de la relaxation des contraintes).

II.7.3.Dispersion :

Lorsque les précipités sont très (de 50 à 500Å) et bien dispersés dans la matrice, ils peuvent provoquer une très importante consolidation. Ce type de précipitation a été appelé dispersion. Ce

terme issu de la morphologie des particules a été étendu à des structures qui ne résultent pas d'une réaction de précipitation.

II.7.4.Affinement du grain :

Certains éléments (carbures et nitrures) empêchent tout grossissement des grains pendant le chauffage. Il en résulte une structure à grain fin offrant beaucoup plus d'obstacles au mouvement des dislocations, puisque l'énergie nécessaire pour franchir un joint de grain est plus grande que celle nécessaire pour franchir une particule précipitée. Il faut mentionner ici que l'affinement du grain est le seul mécanisme ayant une influence favorable sur toutes les caractéristiques : limite d'élasticité, résilience...).

II.7.5.Traitements thermiques :

Des améliorations notables peuvent être apportées aux caractéristiques de l'acier par un traitement thermique, on peut obtenir des structures et des grosseurs de grains différentes en faisant varier la vitesse de refroidissement. Les effets de la trempe peuvent être atténués par une restauration, tandis qu'un recuit atténue les effets d'une déformation grâce à une recristallisation ou à une restauration et à la précipitation de phases dispersées. Les aciers alliés au chrome, molybdène, nickel... présentent une forte trempabilité et donc une grande aptitude aux traitements thermiques.

II.8.AVANTAGE DES ACIERS HLE :

Ils combinent la soudabilité améliorée due au très faible niveau de carbone et la bonne formabilité, leurs caractéristiques mécaniques facilitent le formage sur presses et sur lignes automatisées. Ils se caractérisent de plus par une bonne tenue à la fatigue et à la résistance au choc.

Grâce à leur limite élastique élevée (R_e), ils sont particulièrement adaptés lorsqu'une réduction de poids est recherchée, c'est pourquoi ces aciers s'utilisent fréquemment en remplacement des aciers de construction.[7]

Conclusion :

La qualité des tubes soudé en spirale fabriqué par ALFAPIPE est basé sur le contrôle dès la réception de matière première (bobine) jusqu'au produit fini (tube).

Le respect des procédures de contrôles ,des normes, des références et des spécification du client a permis à ALFAPIPE de réserver sa place en tant que fournisseur potentiel dans le domaine de fabrication de canalisation soudée pour l'hydrocarbure du moins au niveau national.

CHAPITRE III: SOUDAGE DES PIPELINES

III.1.INTRODUCTION :

Les pipelines acheminent les fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux, sur de longues distances. Le plus souvent enfouies sous la terre, ces canalisations incontournables de par leur poids économique, assurent des débits importants en toute discrétion. Si cette caractéristique est appréciable aux yeux de beaucoup, se pose alors la question de la maintenance de ces moyens de transport...

Au-delà de son apparence de simple tuyau, le pipeline est une canalisation particulière qui contribue aux enjeux économiques d'un pays. Selon la nature du fluide transporté, les professionnels distinguent l'oléoduc dans le cas de pétrole, du gazoduc dans le cas de gaz. D'un point de vue technique, il n'y a pas de différence entre un oléoduc et un gazoduc.

III.2.DEFINITION D'UN PIPELINE :

Un pipeline est un ouvrage de transport qui comprend une ou plusieurs canalisations et les installations annexes ci-après :

- Station de pompage.
- Les stations de pompage intermédiaires.
- Les vannes en ligne de sectionnement ou de direction.
- Les stations de réchauffage.
- Les prolongements de la canalisation jusqu'aux premiers organes d'isolement inclus situés à l'intérieur des établissements desservis.

Selon les lieux et les conditions d'exploitation, on s'intéresse beaucoup plus au pipeline en acier destiné au transport des hydrocarbures pour longue distance.

III.3. LES MATERIAUX UTILISES DANS LA FABRICATION DES PIPELINES :

L'objectif fixé pour la durée d'exploitation des canalisations est de quarante ans, ce qui nécessite des qualités exceptionnelles de la part des matériaux de construction : bonne tenue à la corrosion induite par les gaz acides contenus dans les hydrocarbures mais aussi par le milieu (notamment marin), bonne tenue aux ruptures mécaniques provoquées par le dégel des sols ou par les températures des zones désertiques, excellente maîtrise du processus de fabrication, etc.

L'acier se distingue des autres matériaux par son très bon rapport performances/facilité de mise en œuvre industrielle. Il présente aussi des caractéristiques significatives en termes de respect de l'environnement (recyclable).

III.4.FABRICATION DES TUBES EN ALFA PIPE :

La multiplicité des diamètres et des épaisseurs de tubes et le développement avec le temps de leurs techniques de fabrication, constituent les raisons de la diversité du réseau de transport gazier Algérien. On retrouve :

- Les tubes non soudés.
- Les tubes soudés en spirale.

On se limitera dans le cadre de cette étude à la présentation du mode de fabrication des tubes dits de grands diamètres et utilisés dans le transport .Cette appellation est réservée aux tubes de diamètre extérieur supérieur à 406 mm (16").Ils sont obtenus par formage suivi de l'opération de soudage en long ou en spirale de tôles laminées à chaud.

III.4.1.Tubes soudés en spirale :

La fabrication des tubes soudés en spirale est réalisée en continu sur des machines à souder (Figure III .1 : Dessin de l'ensemble de machine à souder).

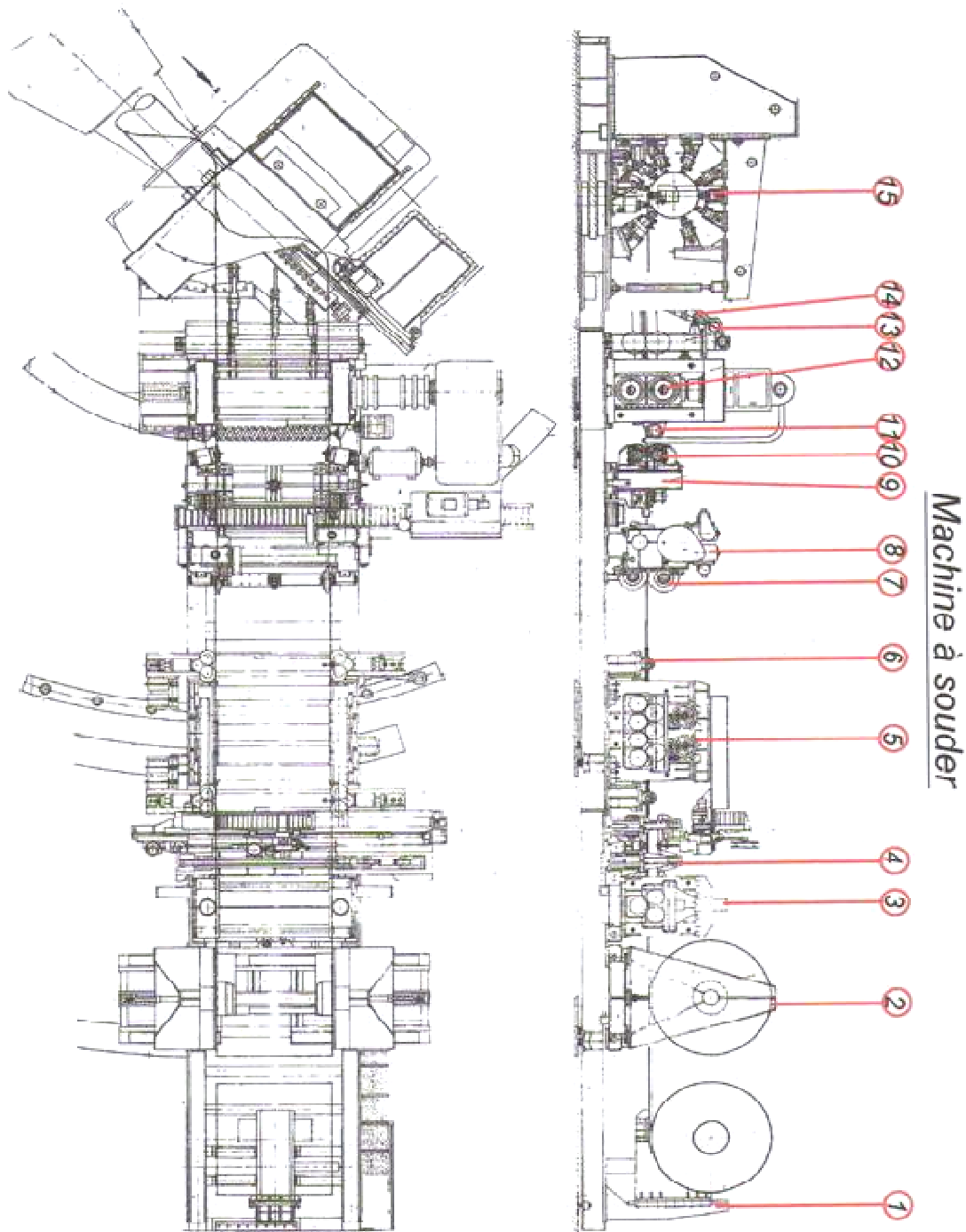


Figure III.1 : Machine à souder.

Machine à souder	
Elément	Nomenclature
1	Chaise d'attente bobine.
2	Dévidoir bobine
3	Pré planeur bande.
4	Zone raboutage.
5	Planeur bande.
6	Guidage bande.
7	Cisaillage bande.
8	Bloc hacheuse.
9	Chanfreinage de rive et maintien bande.
10	Brossage de rives.
11	Brassage face de bande.
12	Rouleaux entraineurs bande.
13	Galet cambreur.
14	Bras de guidage.
15	Cage de formage.

Tableau III.1 : Désignation de la machine à souder.

III.4.2 Etude du fonctionnement de la machine à souder :

- **La chaise d'attente :**

Sous ensemble de la machine servant d'assise de la bobine en attendant son acheminement.

- **Dévidoir :**

C'est un ensemble de la machine qui possède deux mâchoires de serrages commandés hydrauliquement servant comme support et maintien bobine pendant la fonction de la machine.

- **Préplaneur :**

Sous ensemble de la machine servant pour pré planer la bobine pendant son déroulement continu.

- **Zone raboutage :**

C'est l'endroit où l'on fait l'opération d'oxycoupage de la queue de la bobine qui vient de se terminé bien d'équerre afin que l'on puisse joindre le début de la bande de la bobine qui vient d'arriver avec celle qui est déjà fini sur la machine. Puis on fait l'opération de soudage des deux extrémités.

- **Rouleaux planeur :**

Servant pour le planage de la bande durant le fonctionnement de la machine.

- **Guidage Bande :**

Ce système de 04 vérins à galet de guidage de la bande situés de part et d'autre de la machine servant pour le centrage et le guidage de la bande avant cisailage.

- **Bloc cisailage de rives :**

Sous ensemble de la machine servant pour le cisailage des rives de la bande de part et d'autre afin d'enlever l'irrégularité des bords de la bande et la mettre à la largeur voulu.

- **Hacheuse (rogneuse à ferrailles) :**

Sur la machine il existe un ensemble bloc hacheuse de part et d'autre de la bande possédant chacun, deux tourteaux sur les quels sont montés 4 couteaux sur les tourteaux supérieur et inférieur servant pour couper les petites chutes de 20 à 25 cm, ces chutes sont convoyer vers une grande poubelle afin de les évacuer vers l'aciérie pour les transformer.

- **Bloc chanfrein de rives :**

Chaque bloc situé de part et d'autre de la bande sur chacun son monter 3 couteaux. Le 1^{er} couteau doit être régler pour faire le talon sur la bande, la 2^{ème} pour faire l'ébauche et le 3^{ème} la finition du chanfrein afin qu'il y est une bonne pénétration de la soudure sur le tube souder.

- **Brosse face bande :**

Celle-ci sert pour le nettoyage de la face supérieur de la bande.

- **Brossage se rives :**

On utilise 4 brosses métalliques installées de part et d'autre de la bande dont 02 brosses situées sur la partie supérieures de la bande et 02 autres brosses situées sur la partie inférieures, celles-ci sont réglées manuellement avec pression sur la bande afin d'éliminer la corrosion sur les bords de la bande pour est une bonne pénétration de la soudure car la corrosion est ennemi de la soudure .

- **Rouleaux entraineur :**

Ces ensembles de 02 rouleaux sert pour l'entraînement principal de la bande durant toute la période de fonctionnement de la machine commande par un grand réducteur et un variateur de vitesse à commande hydraulique.

- **Cage de formage tube :**

Elle est composé de plusieurs trains de galets situes sur la périphérie de la cage de formage réglable mécaniquement suivant le gabarit du tube et suivant la commande de réglage varie de 16 "à 48".

- **Stand d'alimentation et récupération flux :**

Pour soudage intérieur et extérieur : il faut stand de flux qui va desservir les deux têtes de soudures intérieur et extérieur, et sert aussi à récupérer le surplus de flux afin de la

régénérer de nouveau sur une machine appelée machine à régénérer le flux.

- **Soudage automatique :**

Le tube est soudé automatiquement, intérieur et extérieur par l'intermédiaire d'un système composé de 02 têtes soudeuse intérieure et 02 têtes soudeuse extérieure. 4 postes à souder dont 02 pour l'intérieur et 02 autres pour l'extérieur. Et plus un tant d'alimentation flux pour les 02 soudeuses intérieure et extérieure plus deux de bobines de fil à souder de $\varnothing 04$ mm.

- **Châssis avant de la machine :**

Sur lequel sont montés les ensembles suivants :

- **Lunette de guidage tube :** Servant de support.
- **Chariot oxycoupage tube :** Servant pour découper les tubes aux longueurs.

Programmées automatiquement.

- **Groupe hydraulique :** Servant pour le réglage fente de soudure au niveau cage de formage commandé automatiquement par l'intermédiaire d'un vérin hydraulique.
- **Tables élévatrice :** 04 tables élévatrices servant pendant l'oxycoupage et sert aussi pour évacuer les vers la machines à nettoyer les tubes.

III.4.3. Processus de soudage sur la machine :

Après déroulement de la bobine en bande par un train d'entraînement, la tôle est poussée dans la cage de formage où elle subit une déformation de cintrage sous l'action d'un vérin. L'obtention du formage en spirale est réalisée par l'inclinaison d'angle α entre l'axe initial de la bande et l'axe de sortie du tube. (Figure III 2).

L'enroulement des tubes en spirale permet d'obtenir des tubes calibrés sans avoir besoin de recourir à des étapes de fabrication supplémentaires telles que l'expansion ou le calibrage.

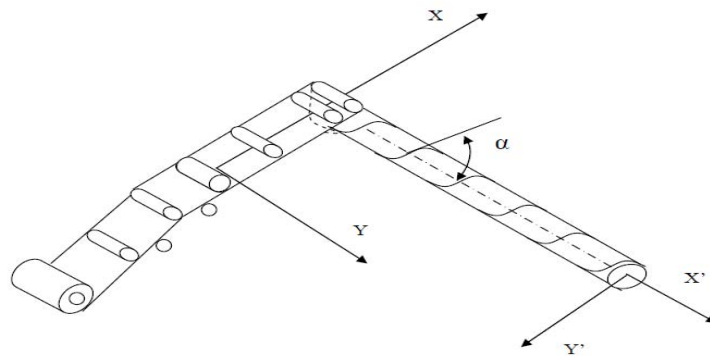


Figure III.2: Principe de fabrication des tubes soudés en spirale.

Le processus de formage ou de cintrage du tube est conditionné par l'angle d'introduction de la bande selon la relation :

$$\sin \alpha = \frac{B}{D \cdot \pi}$$

Dans laquelle :

B : est la largeur de bande cisailée.

D : est le diamètre extérieur.

α : est l'angle d'introduction de la bande par rapport à la tête de formage.

Les limites théoriques d'angle ne peuvent, en pratique, pas être exploitées. Si l'angle est trop aigu, il s'en suit une instabilité du processus de cintrage. Les valeurs limites, pour la fabrication, sont comprises entre 15° et 50°.

La gamme des diamètres, dans laquelle les tubes spirale sont fabriqués, s'étale de 400 à 1700 mm, avec des épaisseurs allant jusqu'à 15 mm.

La fabrication des tubes spirale peut être subdivisée en opérations principales suivantes :

- La préparation de la bande.
- La bande de raboutage.
- Le cintrage. [8]

III.5. DEFINITION DE SOUDAGE:

Le soudage est défini comme étant "un procédé d'assemblage permanent destiné à assurer la Continuité métallique ; celle-ci étant obtenue, soit par chauffage, soit par chauffage et pression, sans ou avec l'emploi d'un produit d'apport complémentaire dont la température de fusion est du même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

III.5.1. Définition de la soudabilité :

La soudabilité est la propriété d'un matériau qui permet, lorsqu'on emploie un procédé de soudage donné pour un but donné, d'obtenir un joint continu en appliquant un mode opératoire convenable. La soudure ainsi obtenue doit satisfaire aux exigences imposées, quand aux propriétés locales de la soudure, et à leur influence sur la construction, dont la soudure fait partie.

Cette définition appelle les commentaires suivants :

1-Nécessité de prendre en compte les diverses composantes du soudage :

- matériau,
- procédé de soudage,
- construction.

2-Nécessité de définir la soudabilité en fonction des propriétés visées :

- problème de résistance, de ténacité,
- problème de corrosion,

3-Nécessité de définir un degré de soudabilité en fonction des exigences imposées pour la construction :

On envisage parfois la soudabilité sous les aspects suivants :

- La soudabilité métallurgique, liée plus particulièrement au comportement du matériau.

- La soudabilité opératoire qui s'attache à définir la facilité d'application d'un procédé de soudage sur un matériau.
- La soudabilité globale qui concerne le comportement du matériau au niveau de la construction.

III.5.2. Aptitude au soudage et critères de soudabilité :

Les définitions suivantes sont sensiblement équivalentes :

Un matériau métallique est dit soudable dans une certaine mesure par un processus donné et dans un but donné, lorsqu'une liaison métallique continue peut être obtenue par soudage en utilisant un processus adapté, de manière que les joints satisfassent aux exigences spécifiées du point de vue de leurs propriétés locales et de leur influence sur la construction dont ils font partie.

Facilité avec laquelle un matériau peut être soudé pour produire un joint acceptable.

Capacité d'un métal à être soudé dans des conditions de fabrication imposées à une structure particulière conçue dans manière adaptée et à produire l'effet souhaité de manière satisfaisante.

III.5.3. Principaux facteurs qui jouent sur la soudabilité :

- La conception des joints.
- Les propriétés métallurgiques.
- Les propriétés physiques.
- Les propriétés chimiques.

a-Critère de soudabilité :

Critère 1:

Soudabilité opératoire = la bonne réalisation pratique de la liaison.

Critère 2:

Soudabilité métallurgique = comportement métallurgique du métal ou de l'alliage mis en œuvre.

Critère 3:

Soudabilité globale = Tenue mécanique :

- Tenue à la corrosion.
- Tenue à la fatigue, sans caractéristiques excessives ni - et surtout - insuffisantes.

Donc, non pas sans défaut, mais sans défaut rédhibitoire pour le service prévu. [9]

III.5.4. Types de joints :

Sur les structures, on trouve une grande variété de joints soudés : ils sont fabriqués à partir des quatre configurations de base que l'on peut classer de la manière suivante :

- Joints bout- a- bout.
- Joints en T.
- Assemblages à recouvrement.
- Joints en angle.

On se situe, dans l'étude actuelle sur le soudage à arc submergé sous flux, à plan (bout-à-bout) sur un tube soudé en hélicoïdale avec deux passes (intérieure/extérieure) destiné pour la canalisation du gazoduc. [10]

III.5.4.Types de joints :

III.5.5.Procédé de soudage sous flux en poudre :

a-Principe : Les tubes destinés pour pipe sont des tubes soudés en spirale selon le procédé à l'arc sous flux (SAW).

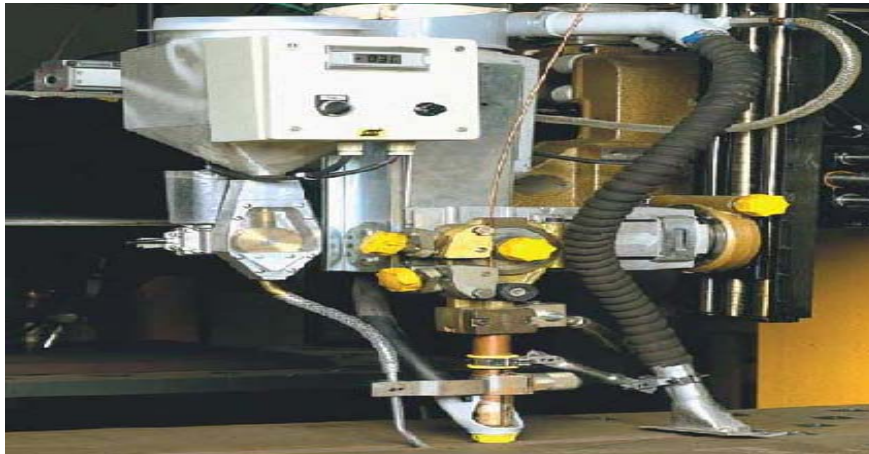


Figure III.3 : machine de soudage sous flux en poudre.

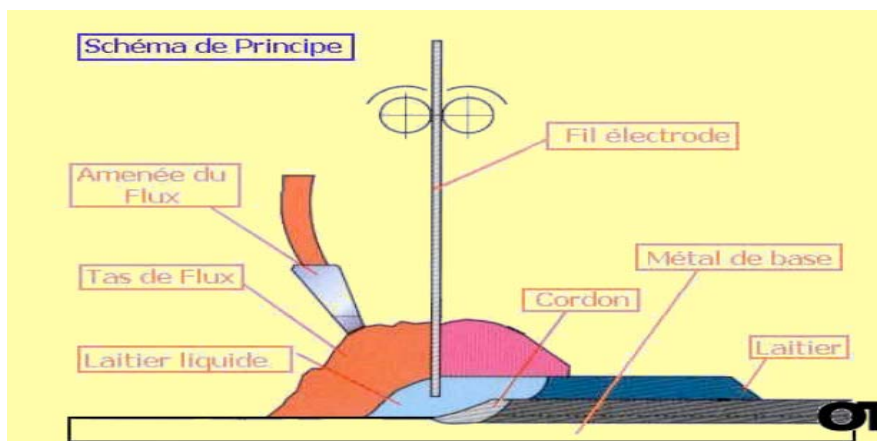


Figure III.4 : le soudage en flux en poudre.

Le soudage à l'arc sous flux en poudre utilise un ou plusieurs fils nus ou un feuillard fusible, l'énergie mise en œuvre pour réaliser le joint et produite par le passage d'un courant électrique entre l'électrode et la pièce à souder, au travers d'un milieu constitué par un laitier résultant de la fusion d'un flux en poudre recouvrant l'extrémité du fil, l'arc et le bain de fusion.

b-Domaine d'application du procédé:

Le soudage sous flux en poudre s'applique principalement au soudage des aciers ferritiques et austénitiques.

Sa forte pénétration, sa haute productivité, son prix de revient, etc., le destinent aux fortes épaisseurs (>5mm) élevées l'assemblage bout à bout en une seule passe de 15 mm d'acier sur bords jointifs chanfreinés.

Les principales applications se trouvent dans le domaine de la charpente métallique, la construction navale, de la grosse chaudronnerie, de l'industrie offshore.

Cependant, sa pénétration sûre, sa vitesse de soudage, la qualité du dépôt et l'aspect des cordons trouvent des applications intéressantes sur les épaisseurs plus faibles (épaisseur ≥ 2 mm environ). Exemple : bouteille de gaz comprimé (butane/propane), banc de soudage, etc..., dans ce cas on travaille soit sur latte support soit à partir de préparation à bords sains et propres. Il est aussi utilisé pour réaliser des revêtements déposés par soudage. Dans ces applications, afin d'augmenter la vitesse de dépôt, on utilise généralement des installations multifils ou des électrodes en bandes (feuillard).

c-Avantages du procédé (SAW) :

Ce procédé est avantageux pour déposer des quantités importantes de métal.

Les dépôts sont bonnes qualités notamment avec l'utilisation de flux basique.

- Il est utilisé à forte intensité (250-400A en mono fils) jusqu'à 1500 en multi fils ou en feuillard.
- Il permet des vitesses d'avance élevées (jusqu'à 3m/mm) et le taux de dépôt est important (2.5 à 12kg/h en mono fils).
- Il a un pouvoir de pénétration élevé ce qui conduit à une simplification de la préparation des bords.
- L'arc n'est pas visible et ce procédé ne génère ni projection ni fumée de soudage.

III.6.LES PARAMETRES DE SOUDAGE :

Pour obtenir de bons résultats au soudage des paramètres de soudage sont choisis en prenant compte du matériau et de l'épaisseur à assembler ainsi que le type du couple fil-flux (Tableau.III. 2).

Les tubes à fabriquer sont d'épaisseur de 12.70 mm, et de diamètre de 1220 mm (48"). Le cordon de soudure résultant du procédé soudage à l'arc sous flux en poudre et des paramètres cités auparavant est montré par la figure (III.5). La pénétration des deux cordons extérieur et intérieur ainsi que la position de l'un par rapport à l'autre selon la norme appliquée (API 5L) est conforme.

Tête soudage intérieur		Tête soudage extérieur	
Intensité (A)	Tension(V)	Intensité (A)	Tension(V)
750/775	33/34	800/825	33/34
o	Vitesse de soudage	0,80 m/min	
o	Nuance d'acier	X70	
o	Epaisseur de la bande	12,7 mm	
o	Largeur de la bande cisaille	1680 mm	
o	Diamètre du fil de soudage /ext	4mm-L70 /LNS 140 A	
o	Flux de soudage	P 223	
o	Angle de chanfrein (a)	12° ÷ 14° (illustré dans la figure III.5)	
o	Largeur de fente (s)	1 mm ((illustré dans la figure III.5)	
o	Angle de production	26,2°	

Tableau III.2 : Schéma du procédé paramètres de soudage.

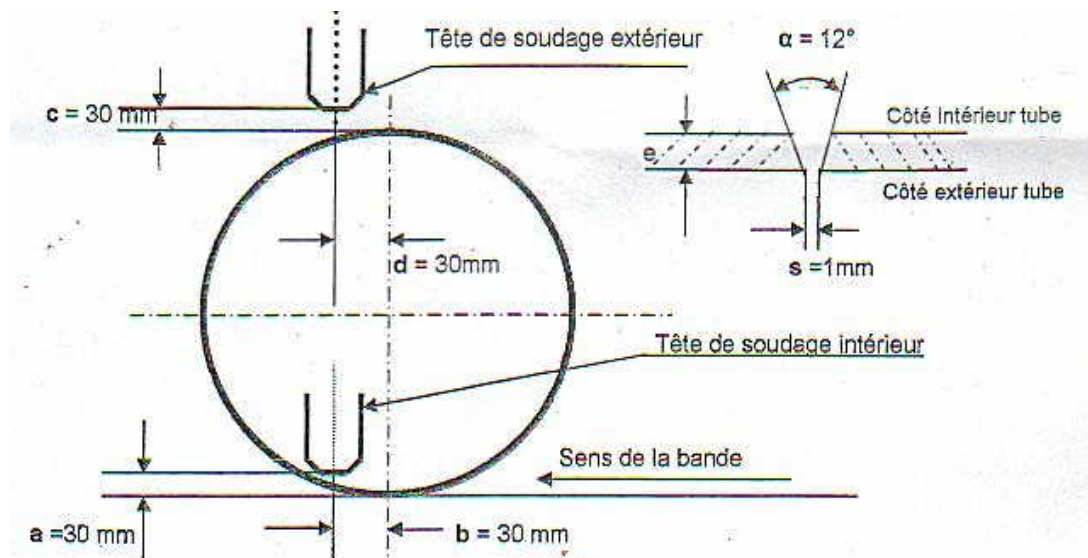


Figure III.5: Schéma du procédé paramètres de soudage.

a-influence de l'intensité :

La pénétration augmente lorsque l'intensité augmente, mais celle-ci a peu d'influence sur le largeur et la surépaisseur du cordon.

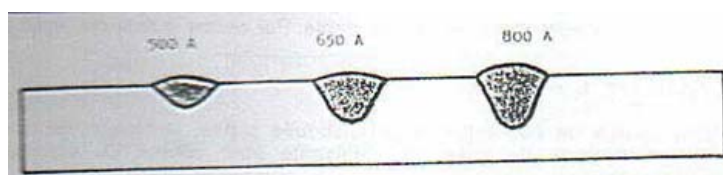


Figure III.6 : influence de l'intensité.

b- influence de la tension d'arc :

Si la tension à l'arc augmente, le largeur du cordon, la consommation de flux et le risque de caniveaux augmente.

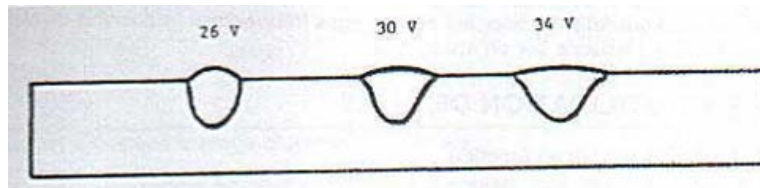


Figure III.7: influence de la tension d'arc.

c-influence de la vitesse de soudage :

Plus la vitesse de soudage augmente, plus le cordon est étroit et plus la pénétration baisse.

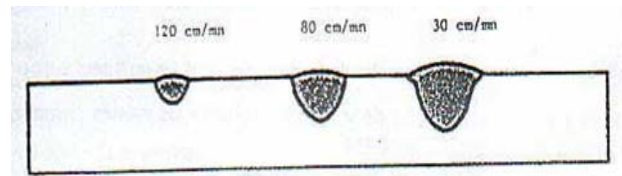


Figure III.8 : influence de la vitesse de soudage.

d-influence du diamètre du fil :

A autres paramètres constants, la pénétration augmente quand le diamètre du fil diminue.

e-influence de la polarité :

En courant continu, on raccorde généralement le pôle (+) au film, mais si l'on met au pôle(-) :

- La pénétration diminuée.
- La stabilité de l'arc est moins bonne.
- La vitesse de fusion et le taux de dépôt augmente.

f-influence de la longueur libre de fil (stick out) :

Généralement la longueur libre de fil est égale à 5 à 7 fois le diamètre de celui-ci. Si cette longueur augmente, la pénétration diminuée, l'arc est moins stable. Par contre le taux de dépôt augmente.

III.7.MODE OPERATOIRE DE SOUDAGE :

La planification des opérations de soudage et le contrôle de qualité en cours de fabrication demande l'établissement d'un mode opératoire donnant des informations et directives sur :

- l'identification de la construction et du constructeur,
- le métal de base,
- le procédé de soudage,
- la préparation de l'assemblage,

- les conditions d'exécution de la soudure.

Un descriptif de mode opératoire de soudage (DMOS) doit être établi en conformité avec les normes en vigueur.

L'établissement d'une mode opératoire conduit bien souvent à la réalisation d'une qualification du mode opératoire envisagé (QMOS).

Elle s'appuie sur les normes en vigueur.

Les modes opératoires de soudage peuvent être élaborés pour répondre à différents besoins,

Par exemple pour réduire les coûts, contrôler la déformation, éviter les défauts ou avoir de bonnes propriétés aux chocs. Des aspects spécifiques du mode opératoire de soudage nécessitent des commentaires détaillés.

III.7.1.Mode opératoire de soudage (MOS) :

Programme d'actions à suivre pour l'exécution d'un assemblage soudé incluant la référence des matériaux, la préparation, la méthode de soudage, son contrôle et les Traitements thermiques avant et après soudage, ainsi que l'équipement indispensable

III.7.2.Qualification d'un mode opératoire de soudage (QMOS) :

La réalisation, le contrôle, l'examen et l'essai d'un assemblage représentatif de la fabrication effectués dans le but de prouver la faisabilité d'un mode opératoire. Cette qualification donne lieu à l'établissement d'un procès-verbal (PV-QMOS). [11]

Exemple de mode opératoire :

MODE OPERATOIRE DE SOUDAGE DU CONSTRUCTEUR OU FABRICANT SELON L'ASME SECTION IX

Lieu : ALFAPIPE / TUBERIE DE ANNABA Examineur ou Organisme d'inspection : IS/ALGERIE

Constructeur ou fabricant : ALFAPIPE / TUBERIE DE ANNABA Préparation : Chanfrein usiné en V – 12°

DMOS Référence N° : WPS 08 / 1 Spécification du matériau de base: X70M PSL2 (API5L)

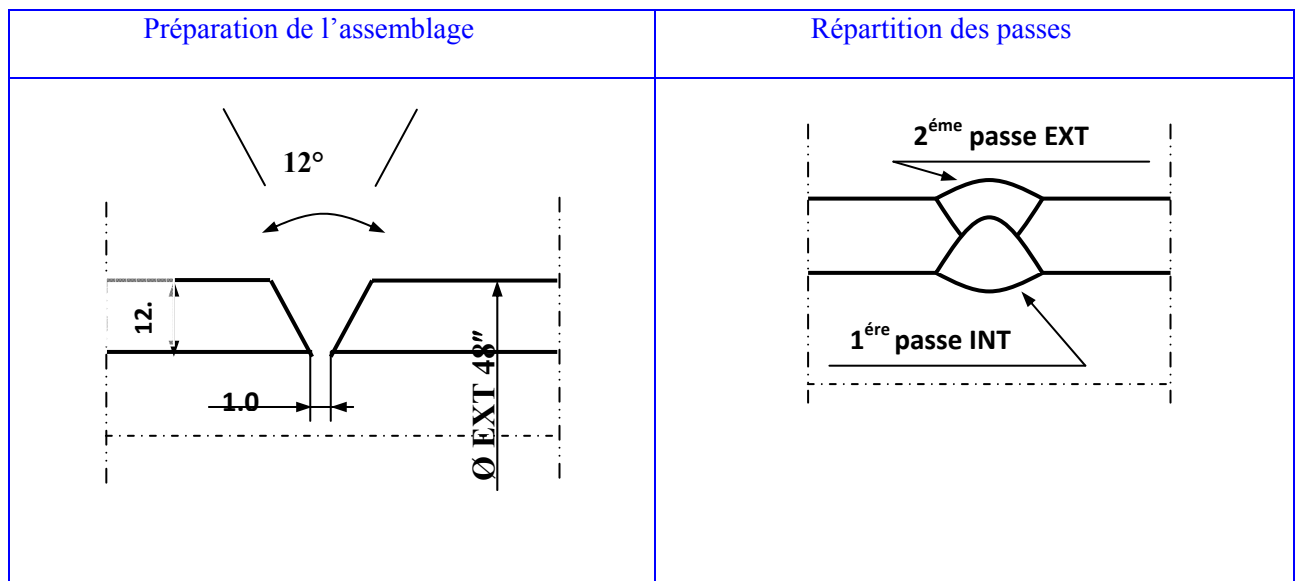
Norme d'essai : ASME Sec IX - Projet : GR4 - LOT2 - N° Bobine :784084 - N° Coulée : 660624

Champ d'application : Tube soudé hélicoïdal Epaisseurs du matériau de base : 12,7mm

Procédé de soudage : SAW -Soudage Automatique sous flux solide. Diamètre du matériau de base : 48"

Type de joint : Bout à Bout pour soudage hélicoïdal Position de soudage : 1 G

Nombre de têtes de soudage : 02 (INT – EXT) Progression de soudage : Plat

DETAILS DE LA PREPARATION DE JOINT :**PARAMETRES DE SOUDAGE :**

PASSE N°	PROCEDE DE SOUDAGE	DIMENSIONS METAL D'APPORT	COURANT (A)	VOLTAGE (V)	COURANT POLARITE	VITESSE DE SOUDAGE
1 ^{ère} (Tête Int)	SAW	Ø 4 mm	700.....800	32.....34	CC (+)	0,80 m/min
2 ^{ème} (TêteExt)	SAW	Ø 4 mm	700.....825	32.....34	CC (+)	0,80 m/min

Métal d'apport : Fil plein (int et ext)

Classification normalisée : AWSA5.23.EA1

Marque et type : LNS140A (LINCOLN) / LOT : 90280

Nombre de F : 8

Gaz de protection/Flux : Endroit et envers : Flux Basique aggloméré

- Classification: AWS A 5.17 & 5.23 F8A4-EA1.A2 & F8A4-EA2.A2
- Marque et type : P223 : LINCOLN/ LOT : 90078A
- Nombre de F : 6

Détail de Gougeage ou du support envers : Non

Température de préchauffage : Non

Traitement thermique après soudage : Non

Matériel de soudage : Machine automatique à deux têtes de soudage intérieur et extérieur

Type de contrôle : Visuel + Radiographie + Essais destructifs.

L'assemblage de qualification décrit ci-dessus a été soudé en présence de : Mr.....

Constructeur ou Fabricant

Examineur ou Organisme

D'Inspection

Nom :

Nom :

Date :

Date :

Signature :

Signature :

PROCES-VERBALDE QUALIFICATION DE PROCEDURE

Nom de constructeur : ALFAPIPE / TUBERIE DE ANNABA

N° Procès-verbal d'homologation : HPS-PQR 2010-1

N° Spécification de soudage : WPS 08 / 1

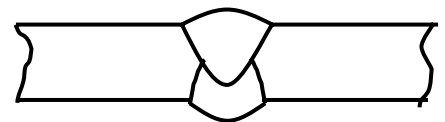
Procédés de soudage : Soudage automatique à l'arc sous flux solide.

Assemblage (QW 402)



1^{ère} passe : soudage intérieur

(soudage à l'endroit)



2^{ème} passe : soudage extérieur

(soudage à l'envers)

Métal de base (QW 403)

Spécif. Matériaux : API 5L

Type ou grade : X70M-PSL2

Nombre P : 1

Epaisseur : 12,7 mm

Caractéristiques électriques (QW 409)

1^{ère} passe

Reprise à l'envers

I (ampères)

700/725

725/750

U (voltes)

33/34

33-34

<p>Diamètre : 48''</p> <p>N° Bob : 784084</p> <p>N° Coulée : 660624</p>	<p>Courant Continu Polarité Positive (+)</p>																					
<p>Métal d'apport (QW 404)</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Intérieure</th> <th style="text-align: center;">Extérieure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ø électrode (mm)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Nombre F : 4 Fil/S2MO(LNS140A) LINCOLN</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lot : 90280</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Autres : FLUX P223 (LINCOLN) Lot : 90078A</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spécification : SFA 5.17/23 AWS 5.17/23</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F8A4-EA1.A2 & F8A4-EA2.A2</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Intérieure	Extérieure	Ø électrode (mm)	4	4	Nombre F : 4 Fil/S2MO(LNS140A) LINCOLN			Lot : 90280			Autres : FLUX P223 (LINCOLN) Lot : 90078A			Spécification : SFA 5.17/23 AWS 5.17/23			F8A4-EA1.A2 & F8A4-EA2.A2			<p>Techniques de soudage (QW 410)</p> <p>Vitesse d'avancement : 0,80 m/min</p> <p>1^{ère} passe à l'endroit</p> <p>Reprise à l'envers</p>
	Intérieure	Extérieure																				
Ø électrode (mm)	4	4																				
Nombre F : 4 Fil/S2MO(LNS140A) LINCOLN																						
Lot : 90280																						
Autres : FLUX P223 (LINCOLN) Lot : 90078A																						
Spécification : SFA 5.17/23 AWS 5.17/23																						
F8A4-EA1.A2 & F8A4-EA2.A2																						
<p>Position (QW 405)</p> <p>Position du joint : 1 G</p> <p>Autres : Réglage de la tête de soudage</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Intérieure</th> <th style="text-align: center;">Extérieure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hauteur buse (mm) :</td> <td style="text-align: center;">30 mm</td> <td style="text-align: center;">30 mm</td> </tr> <tr> <td>Ecartement buse :</td> <td style="text-align: center;">30 mm</td> <td style="text-align: center;">30 mm</td> </tr> </tbody> </table>		Intérieure	Extérieure	Hauteur buse (mm) :	30 mm	30 mm	Ecartement buse :	30 mm	30 mm	<p>Autres</p> <p>Opérateurs de soudage : Mr : Mr</p> <p>Repères : OP/03 & OP/05</p> <p>Machine à souder : A</p> <p>Tube : A13</p>												
	Intérieure	Extérieure																				
Hauteur buse (mm) :	30 mm	30 mm																				
Ecartement buse :	30 mm	30 mm																				

Essai de traction (QW 150)

Re (Mpa) Voir résultats PV laboratoire essais mécaniques

Rm (Mpa) Voir résultats PV laboratoire essais mécaniques

Essai de pliage (QW 160)

PED pliage envers à 120° Bon

PEV pliage endroit à 120° Bon

Autres essai

Contrôle visuel : Bon

Contrôle radiographie : Bon

Noms des opérateurs : Mr.....

Identification : OP/03

: Mr.....

Identification : OP/05

Essai supervisé par : Mr.

Essai de laboratoire :

Nous certifions que les renseignements ci-dessus sont exacts et que les éprouvettes ont été préparées, soudées et essayées conformément aux exigences de la section IX du code ASME.

Pour le constructeur. :**Date :.....****III.8.LES DIFFERENTS TYPES DE CONTROLE :**

On distingue deux types de contrôle : destructives et non destructives.

III.8.1.Contrôles destructifs : caractérisés par le rejet de l'échantillon.

Les contrôles destructifs des tubes soudés en spirale viennent consolider la qualité du produit fabriqué par ALFAPIPE. Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement. Les différents essais destructifs réalisés sur un anneau de tube sont des essais mécaniques (traction, dureté, pliage, résilience), des analyses chimiques et des observations macrographiques [12].

a-Prélèvement des échantillons :

Les échantillons pour les essais destructifs sont prélevés d'un anneau du tube obturé à l'une des extrémités, désigné pour le test (lot ou coulée). La paire de plaques (métal de base, métal de base soudé) sont prélevés transversalement à l'axe du tube.

III.8.2.Contrôles spécifiques :**1-Mesures physiques :**

Le plus souvent, la détermination d'une propriété physique spécifique telle que la masse volumique (ρ), les propriétés optiques et acoustiques (indice de réfraction n), les propriétés électriques et magnétiques (résistance R), propriétés thermiques (coefficient de dilatation λ) nécessite la prise d'un échantillon et la confection d'éprouvettes adaptés à l'appareil de mesure, il s'agit donc d'essais destructif, mais les propriétés mesurées sont indépendantes de la forme ou des dimensions des éprouvettes.

2-Essais physico-chimiques :

Un matériau peut aussi avoir été choisi pour une résistance particulière à une agression physico-chimique ou même biologique.

3-Essais mécaniques :

Les essais mécaniques correspondent à des méthodes d'évaluation des propriétés des matériaux susceptibles d'intervenir dans la tenue en service d'une pièce ou d'une construction. Le plus souvent ils sont destructifs.

4-Essai de traction :

Il a pour but de déterminer la résistance à la déformation élastique et plastique d'un matériau soumis à un effort de traction, pratiqué dans des conditions qui favorisent le comportement ductile (conditions dans lesquelles on mesure la résistance à la déformation minimale). Cet essai s'applique à tous les matériaux sur une éprouvette cylindrique ou prismatique à surface lisse et sans entaille. Les résultats de cet essai sont :

- La limite d'élasticité en N/mm^2 (R_e).
- La résistance à la traction en N/mm^2 (R_m).
- Le pourcentage d'allongement après rupture ($A\%$).

Les essais de traction ont été réalisés à la température ambiante sur des éprouvettes présentant le métal de base et d'autres comprenant une soudure.

Les éprouvettes ont été prélevées sous angle de 45° par rapport à l'axe de laminage. La machine d'essai de traction utilisé MOHR et FEDERHAFF de capacité Max 600 KN (Figure III 9). Les résultats sont donnés par le logiciel texspert sous forme :

- Tableau 3 regroupant les caractéristiques mécaniques de métal de base (MB) et la soudure.
- La courbe rationnelle de traction pour le MB (Figure III 10).

Nr	Module N/mm^2	$R_p 0.5$ N/mm^2	R_m N/mm^2	E- Rupture %	R_p/R_m %	S_o Mm^2	A%
Max	-	635,00	760,00	50,00	90,00	-	-
Min	-	485,00	586,00	22,00	0,00	-	-
1	255410,71	535,98	640,75	41,07	83,65	492	38
2	-	-	659,84	-	-	486	HS= 31 mm

Tableau III.3 : tableau regroupant les caractéristiques mécaniques de X70.



Figure III.9 : Machine de traction MOHR et FEDERHAFF

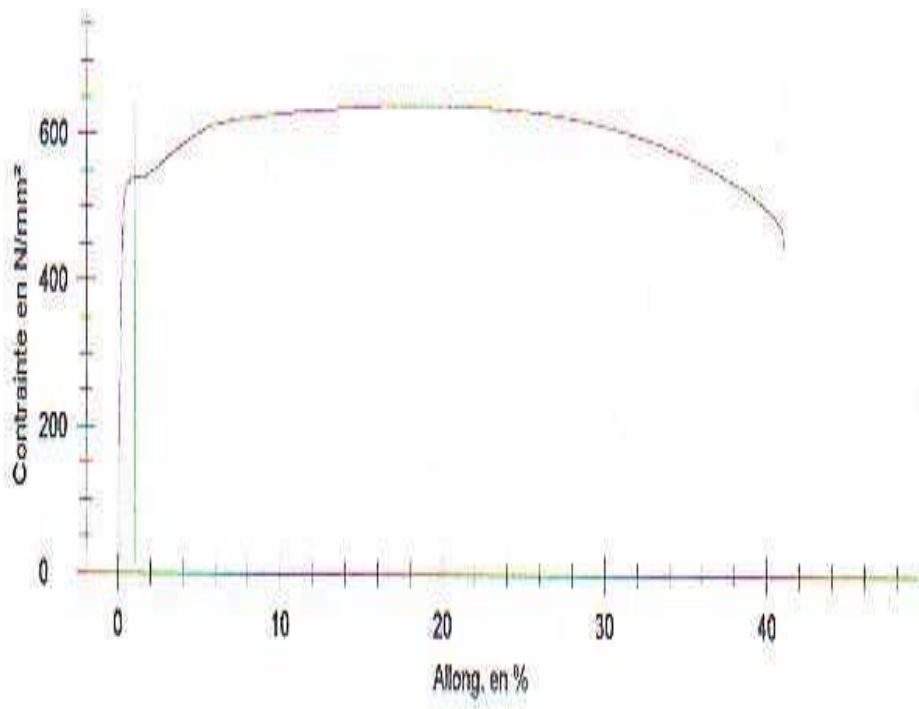


Figure III.10: Courbe rationnelle de traction du métal de base.

5-Essai de résilience :

Il a pour but d'évaluer la résistance à la rupture fragile pour cela il met en œuvre des Conditions qui favorisent le comportement fragile.

Les essais de résilience ont été réalisés sur des éprouvettes normalisées CVN 10×10 dont la géométrie selon [API] est donnée à la (Figure III 11) et à une température de -10° assuré par un appareil de chauffage et refroidissement à la fois (Figure III a) et sur un Pendule Mouton

Charpy(Figure III b). Les éprouvettes ont été prélevées sous angle de 45° par rapport à l'axe de laminage et de trois zones la MB, S, ZAT. Les résultats des essais, sont reportés dans le (tableau III 4).

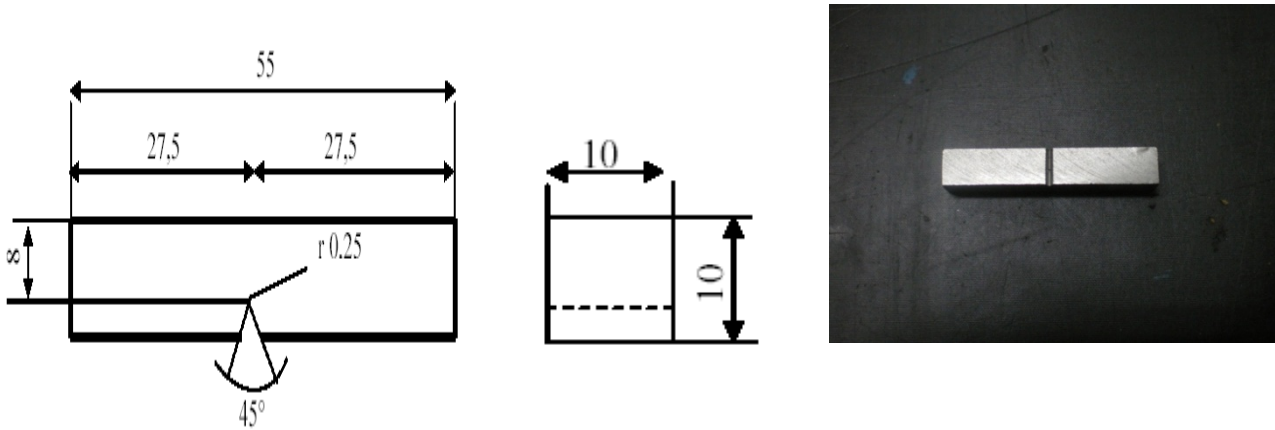


Figure III.11: géométrie et prise de vue de l'éprouvette d'essai de résilience.



a) Appareil de chauffage et refroidissement.



b) Pendule Mouton Charpy.

Figure III.12 : appareillage d'essai de résilience (flexion en 03 points).

Résilience (-10°C)										
Kv2	Kv3	Kv moy	Kvs1	Kvs2	Kvs3	Kvs moy	Kvz1	Kvz2	Kvz3	Kvz moy
195	200	198,3	190	205	203	199,2	100	213	200	170,8

Tableau.4 : Tableau résumant les résultats des essais de résilience.

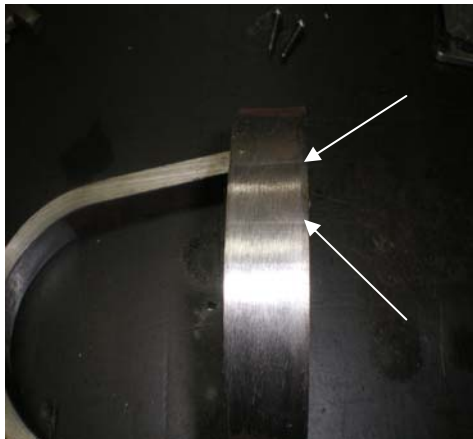
6-Essai de pliage :

A pour but d'évaluer la capacité de déformation plastique d'un matériau donc d'en vérifier la ductilité.

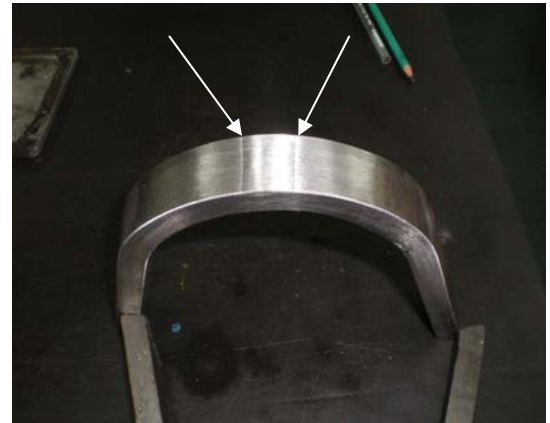
Cet essai s'applique à tous les matériaux d'une forme parallélépipédique de surface lisse et sans entaille. Ses résultats sont :

- L'éprouvette ne doit se rompre au pliage.
- Après pliage la surface tendue de l'éprouvette ne doit pas être fissurée.

Les éprouvettes de cette essai sont les mêmes utilisées dans l'essai de traction (forme et dimensions), le pliage se fait endroit et à l'envers, et ses résultats sont un jugement visuels sur l'aspect de la surface plié (Figure III 13).



a) Pliage endroit.



b) pliage à l'envers.

Figure III.13 : Prise de vue des deux éprouvettes après pliage.

7-Essais de dureté :

Ces essais ont pour but de caractériser la résistance à la déformation du matériau. Ils consistent en plusieurs méthodes d'essais conventionnelles, dont le résultat indique une valeur repère qui dépend de la méthode. Les essais de dureté les plus utilisés sont :

- Vickers ;
- Brinell ;
- Rockwell.

Cet essai s'applique à tous les matériaux, et ses résultats sont :

- Une valeur obtenue en fonction de la méthode d'essai permet de classer les matériaux ; une faible dureté (par exemple 50 Vickers) témoigne d'un matériau déformable (mou et ductile) alors qu'une forte dureté (par exemple 500 Vickers) témoigne d'un matériau peu déformable (dur et souvent fragile).

8- Essais de macro dureté :

La pratique de macro dureté nécessite la préparation les éprouvettes par des polissages par meulage à l'eau à l'aide de papiers abrasifs à indice de granulation croissante jusqu'à 600, on prépare uniquement la face qui fait l'objet de l'essai. On mesure la dureté à l'aide d'un duromètre de type : ZWICK ZHV10 (figure III 14).

On appliquant une masse de 10 Kg dans les 16 points (Norme API 5L) comme l'indique la (figure III 15), on obtient les duretés Vickers regroupés dans le (tableau 5) et éclairé aussi par la (figure III 16).



Figure III.14: appareille de mesure de Macro dureté.

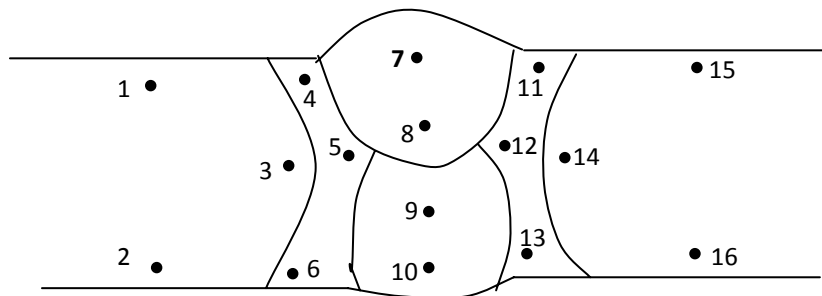


Figure III.15 : les points de mesure de la dureté selon L'API 5 L.

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Hv 10	232	216	226	230	227	235	227	230	266	258	225	237	264	219	235	216

Tableau III.5 : Tableau Regroupement les duretés des 16 points mesurés.

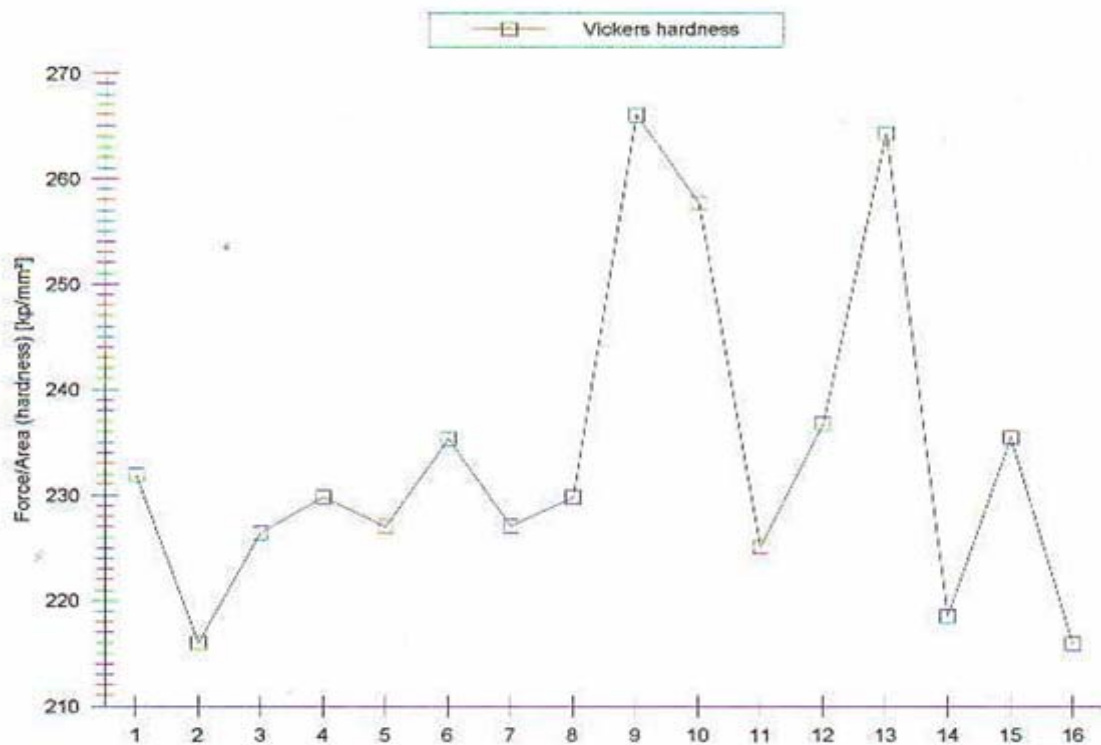


Figure III.16 : graphe représentatif des différentes duretés mesurées sur les 03 zones (MB, S,ZAT).

9-Essai de fluage et relaxation :

Il a pour but de définir le comportement d'un matériau à une température donnée et soumis à une contrainte dans le temps. La déformation résultante est appelé fluage elle peut conduire à la rupture plastique si la température et la charge sont suffisamment élevées. Suivant l'usage du matériau, on peut déterminer la variation de l'allongement en fonction du temps soit :

- A une seule température et diverses charges.
- A plusieurs température mais pour une charge donnée.

L'éprouvette utilisée ressemble à celle pour l'essai de traction ses résultats sont :

- Temps de rupture.
- Temps nécessaire pour obtenir un allongement donné.

10-Essai de fatigue :

Cet essai a pour but de caractériser la tenue du matériau par suite de variations périodiques d'effort, il dépend aussi du temps. Le type de sollicitation peut être la traction, la torsion, ou la flexion.

Ses résultats sont :

- La limite d'endurance (nombre de cycles).

III.8.3. Les examens de structure :

a-Macrographie :

Cette technique a pour but de connaître la structure dans toute l'étendue d'une pièce, donc c'est un examen d'ensemble effectué à l'œil nu ou avec une loupe, après préparation de la surface ou d'une coupe de la pièce. On met ainsi en évidence les hétérogénéités de structure ou de composition (grosseur et orientation des grains ...). Cet examen se fait à une échelle de l'ordre de 1 mm.

b-Micrographie :

Les propriétés d'un matériau ne dépendent pas seulement de la composition chimique mais aussi de la microstructure, c'est-à-dire de la taille et de la répartition des grains ou des phases qui constituent le matériau.

Cet examen se fait à une échelle d'ordre de 0.001 mm.

c-Fractographie :

Cette technique qui vise les cassures présentes des surfaces donnent informations précieuses sur la structure des pièces et leur sollicitation. On provoquant des cassures au Laboratoire par un essai mécanique sur éprouvette, avec l'œil ou à la loupe, une cassure d'aspect cristallin est dite "fragile"(pièce sans déformation), elle est dite "ductile" lorsque son aspect est soyeux, avec des nerfs (pièce avec striction) .La nature des cassures est précisé ensuite au moyen du microscope.

Discutions et comparaison des résultats des essais avec la littérature :

Comme le montre les deux tableaux pris de la norme API 5L tableaux 4 et 5, les résultats des essais coïncident avec ce qui est venu dans la littérature pour l'X70.

L'énergie de rupture absorbée au cours du test Charpy à une température -10 doit être supérieure à une valeur minimum demandée au cahier de charge, et d'autre part on constate une apparence ductile sur la surface de rupture lors des cassures par résilience à -10°. Ces deux critères permettent de s'assurer que l'énergie à fournir pour atteindre la rupture est suffisamment grande, et que l'acier rompt de manière ductile et non fragile.

X 70 selon l'API 5L	Elément	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Ti	N	C _{eq}
	masse en %		≤0,220	≤ 1,65	≤ 0,025	≤ 0,015	≤0,45	0,015 - 0,060	≤0,25	≤0,30	≤0,30	≤0,10	-	-	-	≤0,012

Tableau III.6 : Composition chimique de l'X70 d'après l'API 5 L.

Caractéristiques (API 5L)	Epaisseur (mm)	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A ₅₀ (%)	R _e /R _m	DWTT 10°C (%)
X70	5 - 25	485 - 605	570 - 675	≥ 18	0,90	≥ 85

Tableau III.7 : caractéristiques mécanique del'X70 selon l'API 5 L.

III.8.4. Contrôles non destructifs :

Dans ces types de contrôle, l'échantillon peut être récupéré. On peut citer plusieurs méthodes de CND :

- Contrôle visuel.
- Contrôle par ultrason
- Radiographie.

Dans cette étude on s'intéresse beaucoup plus aux deux contrôles les plus utilisés dans l'industrie des tubes, contrôle visuel et le contrôle par ultrason désigné dans tous ce qui suit par **Us** et la radiographie désigné par **Rx**.

III.8.4.1. Contrôles visuels :

L'examen visuel est le plus simple et le premier des contrôles devant être mise en ouvre. Il permet de déceler les défauts de formes aux autres défauts débouchant en surface des joints soudés. L'inspection est faite sous un niveau d'éclairage d'au moins de 350 lux. L'évaluation métrologique des tubes soudés à l'arc sous flux en poudre comporte les paramètres suivants :

Paramètre	unité	méthode de mesure
Diamètre	mm	micromètre (ruban gradue)
Epaisseur de la paroi	mm	DM2 (micromètre)
Longueur	mm	Double décimètre
Rectitude	mm	Fil à plomb et règle
Equerrage des extrémités de tube	mm	Equerre
Effet de toit	mm	Comparateur
Dénivellation (décalage de soudure)	mm	Comparateur
Hauteur de cordon	mm	Calibre d'élévation
Largeur de cordon	mm	Règle
Angle de cordon	mm	Compas de chanfrein réglable
Talent de chanfrein	mm	règle
Enfoncement	mm	règle
Masse de tube	Kg	balance

Tableau II.8 : paramètres de contrôle visuel.

III.8.4.2. Contrôle par ultrasons Us :

L'appareillage ultrasonore utilisé pour le contrôle des tubes est automatique, il est composé d'un ensemble maintenant les palpeurs sur le tube à contrôler, et un système d'acquisition des signaux, relié à un ordinateur (Figure III.17).

Les palpeurs sont vissés sur des sabots qui prennent appui sur le tube et grâce à leur forme épouse sa courbure. L'ensemble du système de contrôle est composé en réalité de 2 sous systèmes, l'un assure le contrôle du métal de base et l'autre assure le contrôle du cordon de soudure. On se limite dans cette étude à décrire seulement le contrôle du cordon de soudure. La distance palpeur-cordon de soudure est fixe, et le couplage des palpeurs est assuré par de l'eau par un système d'alimentation en circuit fermé. L'étalonnage du système se fait avec un tube de référence (selon l'API 5L 44^{ème} Edition) présentant des défauts artificiels. Lors du contrôle, les traducteurs sont excités l'un après l'autre par l'impulsion électrique basculée ensuite du mode de générateur d'impulsion vers celui de réception et le signal est numérisé.



Figure III.17: Photographie de l'ensemble mécanique supportant les palpeurs.

a- Principe du contrôle :

Dans ce contrôle des ondes mécaniques se propagent dans un matériau (élastique), lorsqu'elles 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 grâce à l'effet piézoélectrique. Cette énergie mécanique transformée en signal électrique engendrera sur un oscilloscope une déflexion de la trace horizontale.

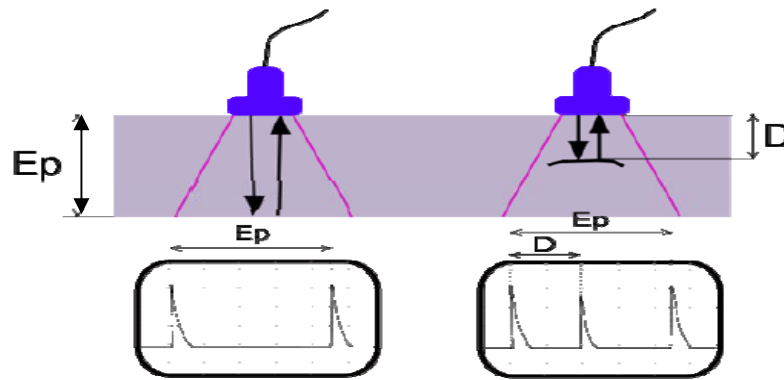


Figure III.18 : principe du contrôle ultrasonore par l'onde réfléchie.

III.8.4.3. Contrôle par radiographie Rx :

Le système de contrôle par rayon X utilise la technique de prise de cliché désignée sous le terme tir en simple image et simple paroi, puisque le diamètre de tube à contrôler est suffisamment important la source radioactive (tube X panoramique dans le cas de notre étude) situé à l'intérieur de tube et donc traverse une seule paroi, vient impressionner le cliché radiologique fixé sur la soudure à l'extérieur de tube.

Le film est ensuite développé et étudié par l'expert, qui vérifie tout d'abord la qualité du contrôle à travers la densité optique du cliché et l'image des indicateurs de qualité d'image (I.Q.I). Ces indicateurs normalisés sont constitués de fils métalliques de différents diamètres placés sur la paroi du tube à contrôler. Le plus petit fil visible détermine la qualité du tir. Le tir est conforme aux spécifications du contrôle si un certain nombre de fils sont visible à l'œil sur le cliché. Le nombre de ces fils dépend de l'épaisseur du tube.

a-Principe du contrôle :

L'examen d'un objet par radiographie consiste à le faire traverser par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde, comme rayons x et γ et à recueillir les modulations d'intensité du faisceau sous forme d'une image sur un récepteur approprié (un film dans les pluparts des cas).

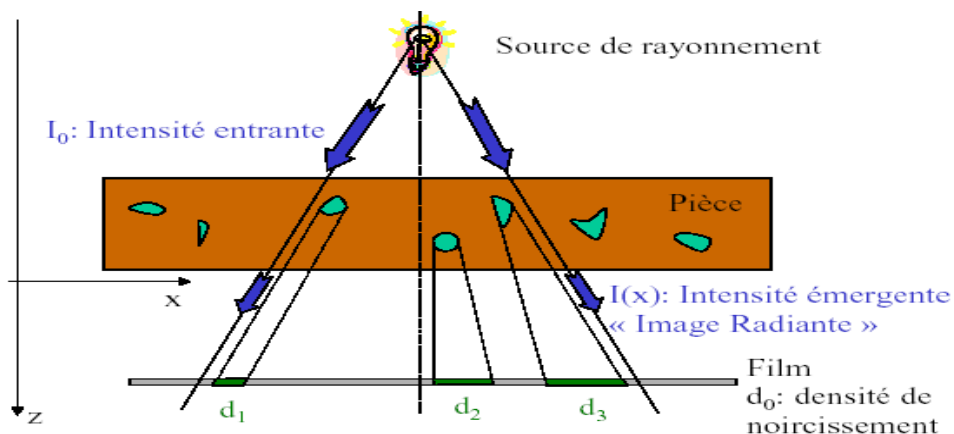


Figure III.19 : Principe de contrôle par radiographie.

Le contrôle de la qualité des radiographies est indispensable pour pouvoir tirer les conclusions sur la qualité de la pièce elle-même, car il permet de savoir si le cliché a été pris dans de bonnes conditions, compatibles avec la sensibilité recherchée pour l'examen. Plusieurs moyens peuvent être utilisés : on utilise couramment la technique des indicateurs de qualité d'image I.Q.I, il s'agit de petits trous (de diamètres égaux ou de fils) aux épaisseurs réparties en progression géométrique où ces indicateurs fournissent une information globale qualitative sur les résultats obtenus.

b-Dimensionnement d'un défaut par radiographie :

La détection et le dimensionnement d'un défaut résulte de l'application des méthodes de segmentation des images radiologiques (comme l'approche frontière, l'approche région etc...). Ces derniers sont difficile en application due à l'inhomogénéité du fond (irrégularité de l'épaisseur du matériau) influant ainsi l'extraction des caractéristiques commune par région comme l'intensité et le niveau de gris sur les quelles se basent la définition du contour de défaut. Le dimensionnement manuel du défaut se fait d'une manière direct sur l'image radiologique.

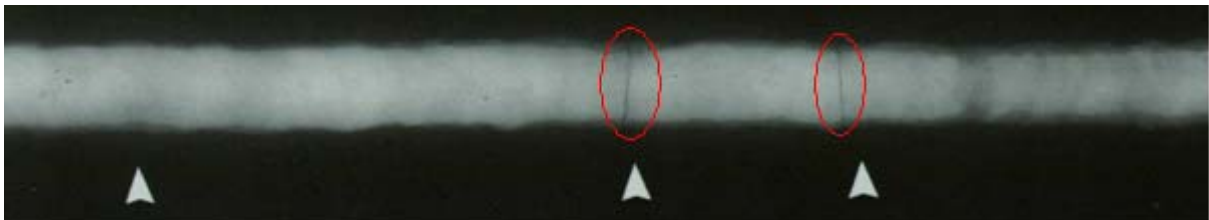


Figure III.20: illustration d'un défaut de fissure transversal dans un cordon de soudure.



Figure III.21: illustration d'un défaut de soufflure dans un cordon de soudure.

c-Fusion des données du contrôle Rx et Us :

Vu que chaque contrôle seul peut ne pas donner les dimensions complètes et fiables pour un défaut donné, la fusion des données est alors obligatoire pour pouvoir bénéficier de ces derniers dans la prise de décision sur la nature ou type de défaut et aussi de ses dimensions pour évaluer la fiabilité d'un tube donné. [13]

III.9.LES PRINCIPAUX DEFAULTS :

On peut classés les defaults a certaine groupe suivantes :

1-Groupe1 : les fissurations ou on a deux type :

a-Fissuration à Chaud : Elle est due à la présence de ségrégations. Au moment de la solidification, les impuretés seront rejetées dans l'axe du cordon qui pourra fissurer sous l'effet des contraintes.

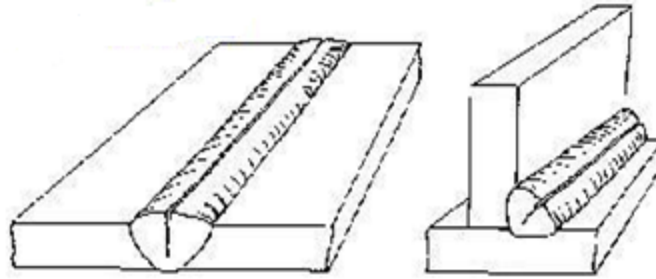


Figure III.20 :Fissure à chaud.

Précautions:

- Eviter les joints étroits et profonds
- Eviter le bridage
- Modérer la vitesse d'avance
- Utiliser des matériaux de bonne qualité.

b-Fissuration a Froid : C'est un phénomène dû à la présence combinée de trois facteurs:

- Hydrogène
- Contraintes
- Structure métallurgique sensible (trempe martensitique)

Ce type de fissure peut apparaître vers la fin du refroidissement ($0^\circ < 250^\circ$) ou de façon différée, plusieurs heures après l'exécution de la soudure.

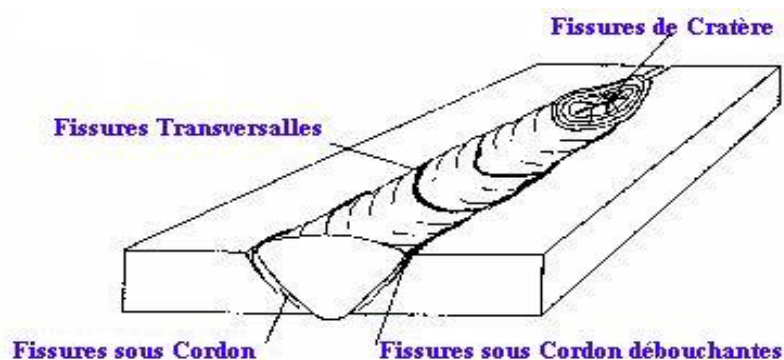


Figure III.21 :Fissure à Froid.

Précautions:

- Pré et/ou post chauffage.
- Etuvage des électrodes.

Groupe 2 : CAVITES**a-RETASSURE:**

C'est une cavité qui se forme lors du retrait dû à la solidification. De tels défauts sont fréquents en fin de passe, et doivent être éliminés avant reprise.

b-SOUFFLURES:

Elles sont constituées par des poches de gaz qui n'ont pu se dégazer lorsque le bain de fusion était liquide et restent occluses dans la masse du cordon. On notera qu'une soufflure débouchant en surface s'appelle une PIQURE.

Précautions:

- Décapage, dégraissage, séchage des bords.
- Etuvage des électrodes.
- Bon réglage de l'énergie de soudage.

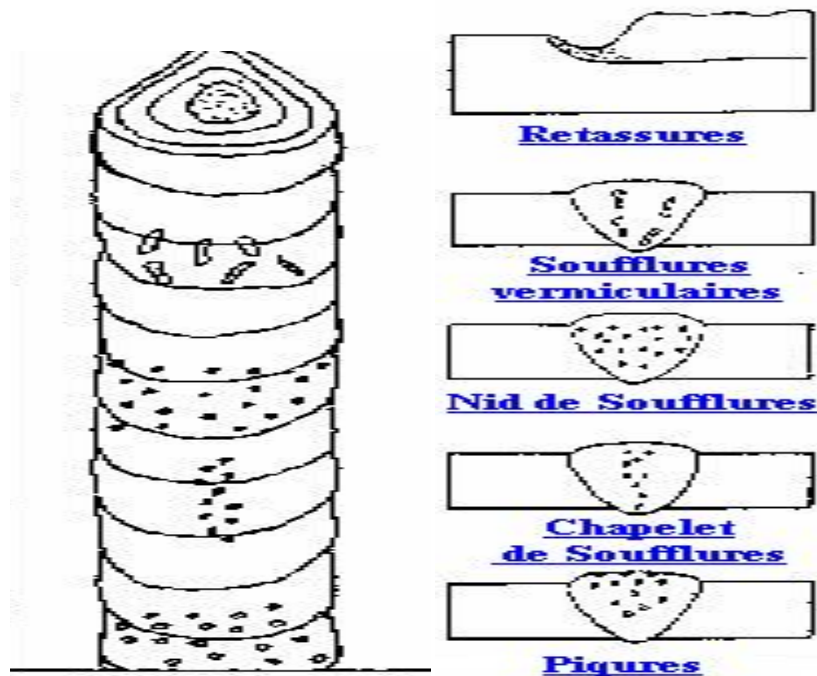


Figure III. 22 : Les Cavités.

Groupe 3 : INCLUSIONS SOLIDES

a-Inclusion de laitier:

En soudage à l'arc à l'électrode enrobée, le laitier provient de la fusion des éléments non métalliques de l'enrobage. Celui-ci étant moins dense que le métal fondu, doit normalement flotter à la surface. Lorsqu'il reste inclus dans le cordon, cela peut provenir:

- Chanfreins trop étroits.
- Mauvais décrochage entre passes.
- Choix de l'électrode.
- Mauvaise intensité.



Figure III.23 : Inclusions de laitier.

b-Inclusion métallique:

Elle se produit surtout dans le cas du soudage TIG, lors d'un contact accidentel de l'électrode en tungstène avec le bain de fusion ou lorsque l'intensité de soudage trop forte vis à vis du diamètre de l'électrode provoque l'éclatement de la pointe.

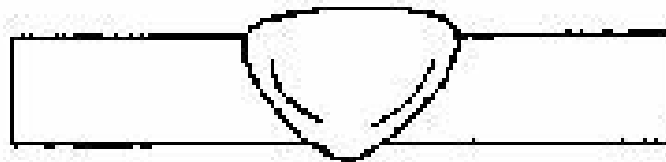


Figure III.24 : Inclusions de laitier.

Groupe 4 : MANQUE DE FUSION ET DE PENETRATION**a-Manque de fusion:**

C'est un manque de liaison entre le métal de base et le métal déposé. Il constitue une entaille aiguë susceptible de jouer le rôle d'amorce pour une fissure de fatigue. les risques de collage sont importants.

Causes possibles:

- Mauvaise tenue de l'électrode (fil / flux).
- Intensité trop faible.
- Electrode de diamètre trop faible.
- Vitesse d'avance élevée.
- Mauvaise préparation.

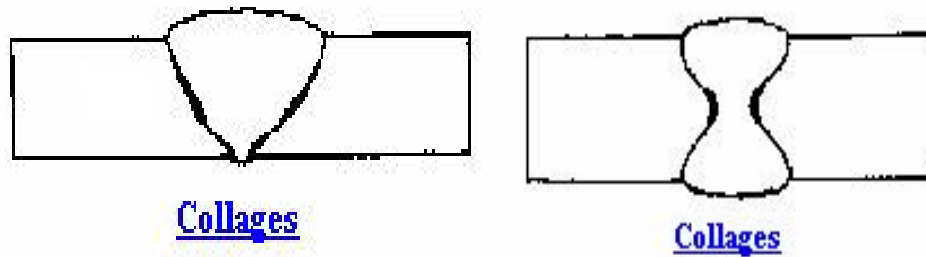


Figure III.25 : Manque de fusion.

b-Manque de pénétration:

Manque de fusion des 2 bords laissant subsister un intervalle entre les bords. Ce défaut est très dangereux car il réduit la section résistante du cordon et il se situe en racine du cordon où les concentrations de contraintes sont importantes. De plus, ce défaut est à l'origine d'entailles qui peuvent servir d'amorces de rupture par fatigue.

Causes possibles:

- Mauvaise préparation des bords.
- Energie de soudage insuffisante.
- Vitesse d'avance trop élevée.
- Reprise envers sans gorgeage préalable.

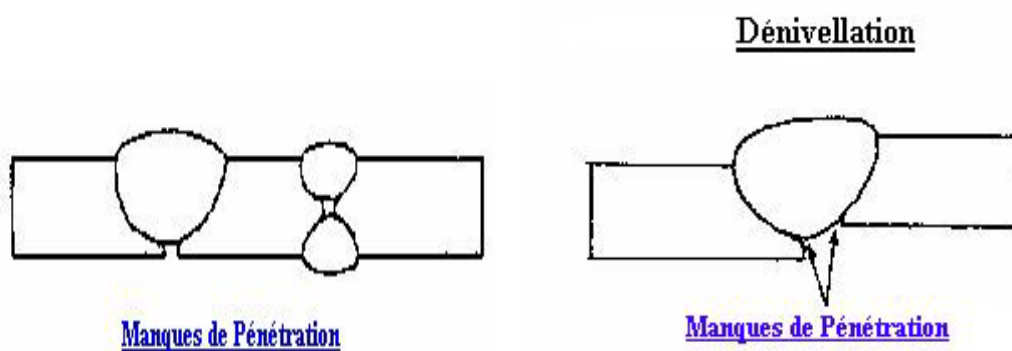


Figure III.26 : Manque de pénétration.

Groupe 5 : DEFAUTS DE FORME (1/2)**a-Caniveaux:**

C'est un manque de métal en forme de sillon en bordure du cordon. Ils sont dus à un courant de soudage trop intense et à une technique opératoire défectueuse. Ils sont fréquents lors du soudage en position verticale lorsque l'électrode est animée d'un balancement à cadence trop rapide et ne comportant pas un temps d'arrêt de part et d'autre de la surépaisseur. Leur présence peut compromettre la résistance à la fatigue. On peut les atténuer, voire les supprimer par meulage suivi ou non d'un rechargement selon la profondeur du défaut. On appelle MORSURE un caniveau local.

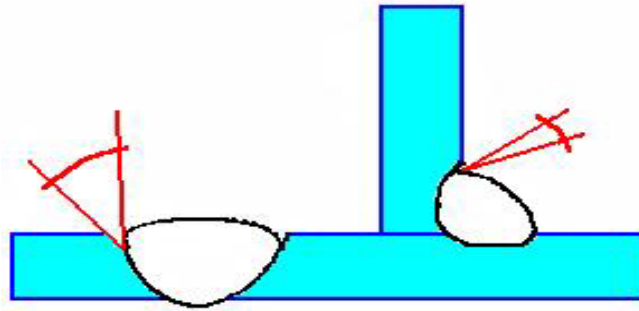


Figure III. 27 : Caniveaux.

b-Sur épaisseur ou convexité excessive:

L'excès de métal se raccorde à la surface de la tôle par un angle vif ou un recouvrement qui produit un effet d'entaille qui est toujours dangereux. L'origine du défaut est évidente: vitesse de soudage trop lente ou intensité trop forte. Suivant la nature des sollicitations et l'importance de la surépaisseur, on pourra se contenter de réduire son épaisseur par meulage ou au contraire l'araser totalement et éventuellement refaire le joint.

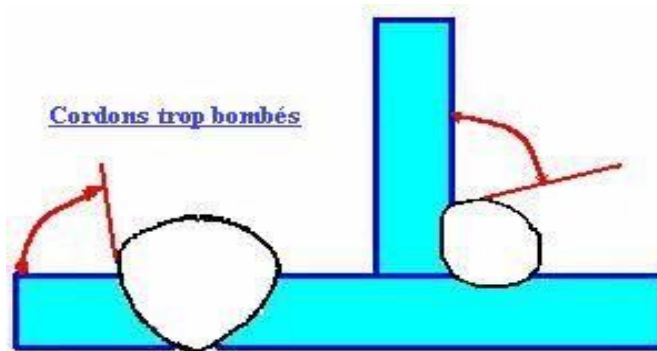


Figure III.28 : cordons trop bombés.

c-Manque d'épaisseur:

Lorsque le soudeur ne remplit pas complètement l'intervalle entre les bords à souder, la surface du cordon présente une forme de gouttière. Dans les soudures multi passes, il peut arriver que le soudeur manquant d'initiative n'ajoute pas de lui même la passe supplémentaire qui peut être nécessaire pour remplir le chanfrein.

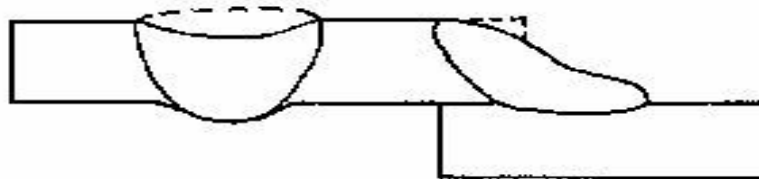


Figure III. 29: manque de métal.

d-Effondrement:

C'est un affaissement du métal déposé dû à une fusion excessive. Il entraîne une mauvaise répartition des contraintes et un risque de rupture différé dans le temps.

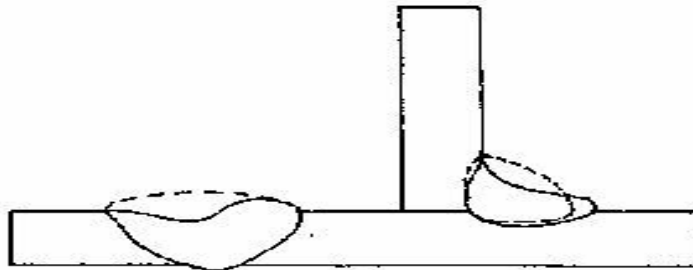


Figure III. 30 :défaut de symetrie.

Groupe 5 : DEFAUTS DE FORME (2/2)**a-Excès de pénétration:**

Une préparation incorrecte, une intensité trop forte, un type d'électrode non approprié et une mauvaise manipulation de l'électrode peuvent être à l'origine de ce défaut. Un goujure assez profond (en raison d'un manque de fusion éventuel), suivi d'une reprise à l'envers, permet de corriger un excès de pénétration.

b-Défaut d'alignement:

Une dénivellation provient d'un montage incorrect des éléments à assembler ou de la rupture du pointage avant soudage. Elle est assez fréquente lorsque l'on soude des tôles d'épaisseurs différentes. Dans ce cas, certains codes ou spécifications fixent la valeur de la pente des délardages qui permettent un raccordement progressif. [14]

Conclusion :

La qualité des tubes soudés en spirale fabriqué est basé sur le contrôle dès la réception de la matière première (bobine) jusqu'au produit fini (tube).

Le respect des procédures de contrôles, des normes, des références et des spécifications du client a permis de réserver sa place en tant que fournisseur potentiel dans le domaine de fabrication de canalisation soudée pour les hydrocarbures du moins au niveau national.

CHAPITRE IV : METAL D'APPORT

IV.1.Principe :

L'arc électrique jaillit entre le fil électrode et la pièce à souder sous une couche de flux en poudre. C'est un procédé à arc non visible par opposition au procédé manuel à l'électrode enrobée, aux procédés MIG et MAG et au procédé TIG où l'arc est visible.

L'arc fond l'électrode, le métal de base et le flux en un seul bain.

Le flux ainsi fondu agit comme un désoxydant qui flotte au-dessus du métal en fusion pour former un laitier protecteur pendant la solidification. Cette fusion est accompagnée d'un léger dégagement gazeux. Le plasma de l'arc est à l'intérieur d'une bulle noyée sous le laitier.

L'arc n'étant pas visible, l'opérateur doit prérégler le parcours de la tête de soudage de façon précise. C'est pour cette raison que le procédé est essentiellement utilisé en automatique. Il est parfois utilisé en semi-automatique avec des dispositifs de guidage et de motorisation du déplacement. En fonction des applications, on utilise 3 procédés différents.

- Soudage mono fil ou arc simple.

Procédé le plus utilisé : un moteur entraîne 1 fil :

- Soudage twinarc et bifils fins.
- Soudage à grande vitesse en angle pour des cordons de faible gorge : $-a \leq 4^\circ$.

Un moteur entraîne 2 fils :

- Soit 2 fils de diamètre 3 mm dans le cas du procédé twin arc.
- Soit 2 fils de diamètre 1,6 mm dans le cas du procédé bifils fin.
- Soudage en arc tandem simple ou multiple également appelé soudage en arcs jumelés.
- Soudage à grande vitesse et fort taux de dépôt pour des cordons d'angle $a > 4^\circ$ ou pour le remplissage de chanfrein sur tôle épaisse.

Ce procédé s'est développé grâce à une productivité exceptionnelle due à différents facteurs.

- Taux de dépôt élevé dû à l'utilisation d'intensités élevées pouvant atteindre 600 A pour un fil de 2,4 mm et plus de 2 000 A en arcs multiples. Dans ce cas, il est courant d'atteindre des taux de dépôt de l'ordre de 30 kg/h.

- Grande vitesse d'avance, en particulier pour le soudage en passe unique sur tôle mince. Il est possible en bifils d'atteindre des vitesses supérieures à 3 mètres par minute.

- Forte pénétration due à l'utilisation d'intensités élevées. Cette forte pénétration permet de souder des tôles bout à bout sans chanfrein jusqu'à 15 mm d'épaisseur (des épaisseurs supérieures peuvent être soudées sans chanfrein mais il faut s'en abstenir pour éviter les cordons trop bombés) et des soudures en T_é interpénétrées jusqu'à 18 mm ou 20 mm.

- Temps de finition minimum dû à l'absence de projection, à l'enlèvement du laitier très facile et à l'absence de vagues qui évite tout meulage de finition.

IV.2.Les produits de soudage :

Plusieurs normes définissent les fils et les flux en poudre suivant la nuance des aciers déposés.

NFA 81 316 (Avril 1980)

Fils électrodes métalliques nus massifs pour le soudage électrique à l'arc sous flux en poudre

déposant un acier non allié ou contenant de faibles éléments d'addition.

NF A 81 319 (Décembre 1988)

Flux pour le soudage à l'arc sous flux en poudre - symbolisation.

NF A 81 322 (Décembre 1988)

Soudage à l'arc sous flux en poudre - couples fils électrodes métalliques nus massifs/flux en poudre déposant un acier non allié ou contenant de faibles quantités d'éléments d'addition - symbolisation - spécification.

IV.2.1. Les fils :

Tous les fils de cette catégorie sont recouverts d'une pellicule de cuivre dont le rôle est double.

- Assurer une protection du fil pour éviter l'oxydation
- Assurer un bon contact électrique entre le tube contact et le fil pour éviter toute variation de tension donc assurer une bonne stabilité d'arc.

La symbolisation des fils électrodes métalliques nus massifs pour le soudage sous flux en poudre définie par la norme NFA 81 316 est basée sur leur composition chimique hors revêtement cuivreux.

Elle comprend :

- Les lettres SA pour soudage à l'arc sous flux.
- Un nombre qui divisé par 2 indique la teneur en Mn.
- Les lettres Si indiquant une teneur moyenne en Si de 0,3 %.
- Les lettres Si2 indiquant une teneur moyenne en Si de 0,6 %.
- Les lettres Mo indiquant une teneur moyenne en Molybdène de 0,5 %.
- Les lettres Ni + 1 chiffre indiquant la teneur en nickel du fil.

Les différents fils et leurs compositions chimiques sont définis dans le (tableau1) ci-après.

Symbole	C	Si	Mn	S	P	Mo	Ni	Cr	Cu
SA 1 (e)	0,05 - 0,12	-	0,44 - 0,6	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 1 (c)	0,06 - 0,13	≤ 0,10	0,4 - 0,6						
SA 2	0,07 - 0,14	≤ 0,10	0,9 - 1,2	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 3	0,07 - 0,14	≤ 0,10	1,4 - 1,7	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 4	0,09 - 0,16	≤ 0,10	1,8 - 2,2	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 2 Si	0,07 - 0,15	0,15 - 0,35	1,4 - 1,7	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 3 Si	0,07 - 0,15	0,15 - 0,35	1,4 - 1,7	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 1,5 Mo	0,07 - 0,15	≤ 0,05	0,7 - 1	≤ 0,03	≤ 0,03	0,45 - 0,60	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 2 Mo	0,07 - 0,14	≤ 0,1	0,9 - 1,2	≤ 0,03	≤ 0,03	0,45 - 0,60	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12
SA 4 H Mo Ni 2,5	0,09 - 0,16	≤ 0,1	1,8 - 2,2	≤ 0,03	≤ 0,03	0,45 - 0,60	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12

SA 3 Mo Ni 1	0,07 - 0,14	0,1 - 0,2	1,4 - 1,8	0,020	0,020	0,40 - 0,60	0,8 - 1,4	≤0,15	≤0,12
SA 4 Mo Ni 0,5	0,07 - 0,13	≤0,10	1,7 - 2,1	0,020	0,020	0,45 - 0,60	0,4 - 0,6	≤0,15	≤0,12
SA 4 H Mo Ni 2,5	0,12 - 0,18	≤0,10	2 - 2,4	0,020	0,020	0,45 - 0,65	0,45-0,75	≤0,15	≤0,12
SA 2 Ni 1	0,07 - 0,14	≤0,10	0,9 - 1,3	0,015	0,020	≤0,15	1 - 1,5	≤0,15	≤0,12
SA 2 Ni 2	0,07 - 0,14	≤0,20	0,9 - 1,2	0,015	0,015	≤0,15	1,8 - 28	≤0,15	≤0,12
SA 3 Ni 1	0,02 - 0,14	≤0,10	1,4 - 2,7	0,015	0,020	≤0,15	1,8 - 1,5	≤0,15	≤0,12

Tableau IV 1 : composition chimique de différents fils.

IV.2.2.Les Flux :

Les flux sont fabriqués de deux façons différentes :

- soit à partir de ferro-alliages broyés et malaxés puis cuits à une température inférieure à celle où interviendraient les réactions chimiques. Ce sont les flux agglomérés.
- Soit à partir de ferro-alliages passés au tamis pour être vérifiés c'est-à-dire cuits à une température où ont lieu les réactions chimiques puis concassés pour obtenir la granulométrie désirée. Ce sont les flux fondus.

La norme NF A 81 819 (Décembre 1988) définit la symbolisation des flux pour le soudage à l'arc électrique sous flux en poudre.

Symbole relatif à la méthode de fabrication :**Symbole****Méthode de fabrication**

F

Fondu

B

Aggloméré

Symbole relatif à la granulométrie :

Symbole	Dimensions nominales de la maille en micromètres	Grosseur des grains en mm
20	80	0,080
21	100	0,125
22	125	0,160

23	160	0,200
24	200	0,250
25	250	0,315
26	325	0,400
27	400	0,500
28	500	0,630
29	530	0,800
30	800	1,000
31	1 000	1,25
32	1 250	1,60
33	1 600	2,00
34	2 000	2,50
35	2 500	-

Symbole caractérisant les constituants principaux :

Référence	Principaux constituants	Type de flux
MS	Mn O + Si O ₂ > 60 % Ca O < 15 % - Zr O ₂ < 5 %	Manganèse silicate
CS	Ca O + Mg O + Si O ₂ > 40 % Ca O > 15 %	Calcium Silicate
AR	Al ₂ O ₃ + Tr O ₂ > 45 %	Alumine Rutile
AB	Al ₂ O ₃ + Ca O + Mg O + Ca F ₂ > 55 %	Alumine Basique
FB	Ca O + Mg O + Mn O + Ca F ₂ > 50 % Si O ₂ ≤ 20 ₂ % - Ca F ₂ ≥ 15 %	Fluorure Basique

MS : Ces flux essentiellement constitués par du silicate de manganèse sont obtenus à partir de mélanges de minerai de manganèse et de sable siliceux avec additions d'autres minéraux tels que des silicates de calcium et d'aluminium.

Un gain en manganèse et en silicium du métal soudé se produit lorsque ces flux sont utilisés avec des fils ayant une faible teneur en Mg.

CS : Ces flux au silicate de calcium contiennent une proportion élevée de Si O₂ et peuvent en général être utilisés avec de fortes intensités de courant. Un gain en silicium du métal se produit lorsque ces flux sont utilisés avec des fils ayant une faible teneur en Si.

AR : Ces flux généralement agglomérés permettent d'utiliser la technique multifils. Ils peuvent en particulier convenir pour l'exécution à grande vitesse des soudures d'angle à plat et des soudures en 2 passes.

AB : Ces flux généralement agglomérés se situent entre les flux AR et FB.

FB : Ces flux de type aggloméré sont caractérisés par leur faible teneur en Si O₂ et sont conçus pour limiter le transfert du silicium dans le métal fondu. Ils permettent d'obtenir de hauts niveaux de résilience en soudures multi passes.

IV.2.3.Symbole relatif aux conditions électriques de soudage :

Symbole	Conditions d'utilisation
1	Tous courants
2	Courant continu

Exemples :

Flux fondu Manganèse silicate ayant une granulométrie de 800/80 utilisable en CC et en CA :

FP/F 30/20 MS1 - NF A 81 319

Flux aggloméré Alumine Basique ayant une granulométrie de 1600/100 utilisable Uniquement en C.C.

FP/B 33/21 AB2 - NFA 81 319

Comme pour les enrobages d'électrode on retrouve pour les flux les mêmes nuances rutile, basique etc.... avec la même influence sur les caractéristiques mécaniques du métal déposé.

Mais dans le cas du soudage sous flux, on rencontre deux types de flux.

- Les flux actifs dont une partie des éléments passent dans le bain de fusion. Les quantités d'éléments introduites dans le bain varient avec la tension d'arc : plus la tension d'arc est élevée et plus il y a transfert d'éléments du laitier dans le métal déposé.

La composition chimique donc les caractéristiques mécaniques vont varier, toutes choses égales par ailleurs, en fonction des réglages de soudage.

- Les flux neutres qui apportent peu ou pas d'éléments et donc permettent d'obtenir des compositions chimiques du métal déposé constantes quels que soient les réglages.

D'où l'importance du choix du couple fil/flux en fonction :

- Des caractéristiques mécaniques à obtenir.
- Du métal de base et de la dilution.
- De la technique de soudage : mono passe ou multi passes.
- Des réglages de soudage.

IV.2.4. Les couples fil/flux :

Avant propos :

Afin de faciliter le choix du couple fil/flux la norme NFA 81.322 (décembre 88) donne des orientations mais les paramètres influant les caractéristiques mécaniques du métal déposé étant nombreuses, on ne pourra connaître les résultats qu'après réalisation d'une qualification de mode opératoire.

En effet, le soudage à l'arc sous flux en poudre peut se pratiquer essentiellement de 2 façons :

a) En utilisant la technique en une ou deux passes (une soudure bout à bout est exécutée soit en une passe d'un seul côté soit en une passe de chaque côté).

b) En utilisant la technique "multi passe".

Pour les soudures exécutées en une ou deux passes les deux tiers environ du métal fondu sont constitués par du métal de base, le produit de la réaction fil/flux n'en représentant qu'un tiers. Le métal de base utilisé exerce donc une influence majeure et la composition chimique et les caractéristiques mécaniques du métal fondu obtenues ne dépendent pas uniquement des propriétés des couples fils/flux utilisés.

Par contre, lorsqu'on utilise la technique du soudage multi passe, l'influence du métal de base est relativement plus faible et la composition chimique et les caractéristiques mécaniques du métal fondu résultent de la réaction ayant lieu entre le fil électrode fondu et le flux en poudre. [15]

IV.2.5. Symbolisation du couple fil/flux :

a) Symboles fil et flux suivant normes :

NF A 81 319

NF A 81 316

b) Symbole résistance à la traction :

Symbole	Résistance à la traction MPa	Limite élasticité MPa	A %
41	410-530	≥ 300	≥ 25
44	440-560	≥ 320	≥ 24
47	470-590	≥ 355	≥ 23
51	510-630	≥ 390	≥ 22
55	550-670	≥ 420	≥ 21
59	590-710	≥ 460	≥ 20
64	640-760	≥ 550	≥ 18
69	690-810	≥ 620	≥ 26

75	≥ 750	≥ 690	≥ 16
----	------------	------------	-----------

c) Symbole Température de Résilience KCV $\geq 35 \text{ j/cm}^2$

Symbole	Température essai °C	Résilience	
		Moyenne	Individuelle
A1	/	/	/
A2	+ 20°	≥ 35	≥ 26
OO	0	≥ 35	≥ 26
O2	- 20	≥ 35	≥ 26
O3	- 30	≥ 35	≥ 26
O4	- 40	≥ 35	≥ 26
O5	- 50	≥ 35	≥ 26
O6	- 60	≥ 35	≥ 26

d) Symbole Température de Résilience KCV $\geq 50 \text{ J/cm}^2$:

Symbole	Température essai °C	Résilience	
		Moyenne	Individuelle
A1	/	/	/
A2	+ 20°	≥ 50	≥ 35
OO	0	≥ 50	≥ 35
O2	- 20	≥ 50	≥ 35
O3	- 30	≥ 50	≥ 35
O4	- 40	≥ 50	≥ 35
O5	- 50	≥ 50	≥ 35
O6	- 60	≥ 50	≥ 35

IV.1.CONTRAINTES RESIDUELLES

IV.3.1.INTRODUCTION:

Dans le secteur de la fabrication métallique, l'accumulation des contraintes est un problème majeur, produisant des distorsions et des instabilités dimensionnelles. Toute personne habituée à travailler avec les métaux, que ce soit un chaudronnier ou un fabricant de moules ou de machines outils, sait combien il est difficile de maintenir les tolérances dimensionnelles des pièces fabriquées. [16]

IV.3.2.Les contraintes mécaniques :

Le terme contrainte, ou stress, est employé couramment aujourd'hui, mais il possède un sens technique bien précis, et il en est de même pour le terme déformation. La déformation est un effet qui résulte de la contrainte. Les définitions de ces termes et d'autres termes connexes sont indiquées ci-après. [17]

IV.3.3.Contraintes mécaniques et déformation :

Lorsqu'une charge ou une force est appliquée à un matériau, ce matériau est assujéti à une contrainte définie comme étant la force appliquée sur une unité de surface. (Cette notion nous permet d'ignorer la taille de l'unité tout en examinant les effets de la force sur l'état physique de la pièce.) Par exemple, une force externe due à la pesanteur est exercée sur tous les matériaux.

Il existe trois types de contraintes :

- **Contrainte de traction** qui tend à allonger un matériau.

Exemple : un ressort muni d'un poids attaché à l'une de ses extrémités.

- **Contrainte de compression** qui tend à comprimer un matériau.

Exemple : un cric d'automobile soumis à une charge.

- **Contraintes de cisaillement** qui résultent de l'application d'une charge transversale. Exemple : contrainte exercée sur un arbre qui est mal aligné.

Les trois types de contraintes sont illustrés à la figure IV.1 :

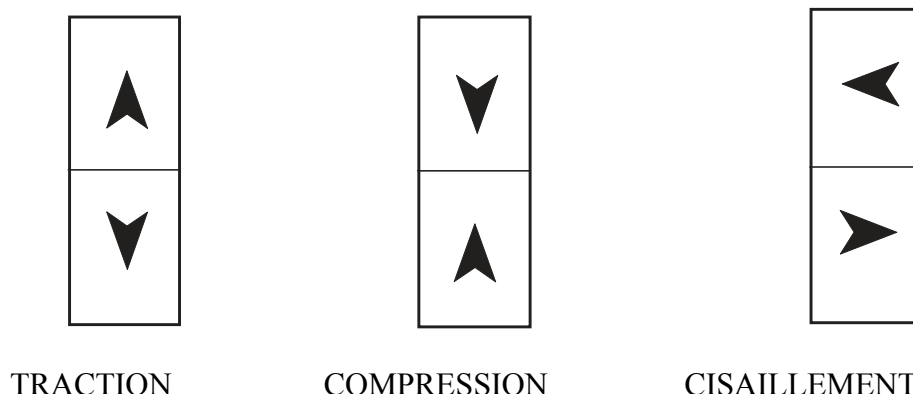


Figure IV. 1 : Types de contraintes.

La déformation est l'effet résultant de la contrainte. Par exemple, la déformation est souvent mesurée comme étant le % d'allongement ou le changement relatif de longueur d'une pièce sur laquelle une

force de traction a été exercée. Dans de nombreux matériaux, les contraintes appliquées peuvent avoir un ou plusieurs des effets suivants, selon l'importance de la contrainte :

- Lorsqu'il est assujéti à une contrainte relativement faible, le matériau subit une déformation élastique, et retourne à son état initial après l'élimination de la contrainte.
- Lorsqu'il est assujéti à des niveaux de contrainte modérés, le matériau atteint sa limite d'élasticité, ou limite apparente d'élasticité et commence à subir une déformation plastique. Il ne retournera pas à son état initial, mais subira une déformation permanente.
- Lorsqu'il est assujéti à des niveaux de contrainte relativement élevés, le matériau connaît une défaillance ou une rupture parce que sa limite conventionnelle de proportionnalité a été dépassée.

IV.3.4. Contraintes thermiques et déformation :

Les matériaux subissent également des contraintes à cause des différences de température. Celles-ci peuvent entraîner des changements dans les dimensions des pièces. Lorsqu'une pièce résiste à un changement de dimensions, il en résulte une contrainte thermique.

Les changements dans les dimensions d'une unité peuvent être causés par des contraintes externes ou par des gradients de température internes, ou les deux. Par exemple, une contrainte externe peut être appliquée à une poutre dont les deux extrémités sont coulées dans le béton. Lorsque la poutre est chauffée ou refroidie de manière importante, on observera la présence de contraintes de compression ou de traction.

Dans les cas où survient une différence de température ou un gradient à l'intérieur du matériau, les forces générées seront internes.

Les parties les plus chaudes du matériau subissent généralement une dilatation plus importante que les parties plus froides, ce qui génère des contraintes de tension dans les parties plus chaudes et des contraintes de compression dans les parties plus froides.

Il arrive parfois, contrairement au cas précité, qu'on observe alors une contrainte thermique réelle. Certains processus sont en cause dans les contraintes thermiques, notamment :

- La dilatation thermique (ou l'allongement), dans la plupart des matériaux, résulte d'une augmentation de la température. L'ampleur de la dilatation dépend du changement de température, de la température elle-même, de la longueur de la pièce et des matériaux qui la compose.
- La dilatation thermique différentielle survient lorsqu'il y a une différence de température ou un gradient entre deux points d'une même pièce en métal. On qualifie cette dilatation de différentielle parce que la plupart des métaux se dilatent lorsque la température augmente. Si l'augmentation (ou la diminution) de température n'est pas la même dans les différentes parties d'une même pièce, ces différentes parties ne subiront pas la même dilatation. Dans ce cas, les contraintes de compression et de traction entraîneront le pliage de la pièce, tel qu'indiqué à la (figure IV. 2).

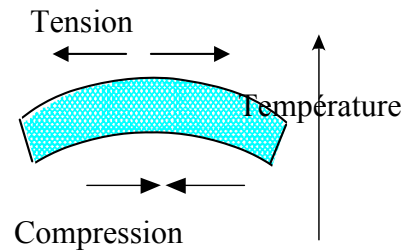


Figure IV. 2 : Pliage dû à la dilatation thermique différentielle.

- Le choc thermique est une contrainte interne qui résulte du réchauffement ou du refroidissement rapide d'une pièce. Dans le cas du réchauffement, les contraintes de compression élevées près de la surface de la pièce peuvent causer une fissuration interne alors que dans le cas du refroidissement, des contraintes de traction élevées apparaissant à la surface de la pièce pourraient donner lieu à une fissuration externe.

IV.3.4. Contraintes circonférentielles :

La contrainte circonférentielle dans une conduite est une contrainte qui s'oppose à la dilatation de la conduite lorsque le fluide contenu à l'intérieur de la conduite est sous pression. En termes plus techniques, il s'agit de la contrainte à l'intérieur de la paroi d'une conduite qui agit de manière circonférentielle dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal de la conduite et qui est produite par la pression exercée par le fluide sur la conduite.

IV.4. ORIGINE DES CONTRAINTES RESIDUELLES :

De façon générale, toute hétérogénéité entraînant une déformation plastique localisée va causer l'apparition de contraintes résiduelles. Sur le plan métallurgique, et à l'échelle microscopique des grains, les défauts cristallins causent des déformations localisées qui entraînent des contraintes résiduelles à l'échelle macroscopique, les déformations localisées dues à des sollicitations mécaniques ou thermiques, ainsi que les transformations de phases induisant des changements de volume causent des contraintes résiduelles.

IV.4.1. Définition contraintes résiduelles :

Au cours de la fabrication, de l'installation ou de l'entretien, le matériau peut être laissé dans un état tel que des contraintes agissent de manière permanente à l'intérieur du matériau. La contrainte résiduelle est appliquée de manière continue à l'intérieur du matériau durant toute la durée de vie de l'équipement. On peut pratiquer des ouvertures à la perceuse, souder ou plier les pièces pour appliquer des contraintes résiduelles dans un matériau. En fin on peut définir que la contrainte résiduelle est une tension ou une compression, qui existe dans le substrat du matériau en l'absence de l'application de charges externes (force appliquée, déplacement d'un gradient thermique).

IV.4.2. Les différents types de contrainte résiduelle :

Les contraintes résiduelles sont de deux types : **tension** et **compression**. Les lois physiques et mathématiques exigent que les degrés de compression et de tension soient égaux. Malheureusement, à travailler avec les métaux, on obtient rarement un tel équilibre. Dans le domaine de la fabrication métallique, le but est de produire une pièce ou une structure métallique libre de toutes contraintes

résiduelles. Ceci nécessite ainsi de recourir à un traitement de détente, c'est à dire de réduction de ces contraintes résiduelles, pour éviter d'endommager le métal.

Exemple :

Pour mieux expliquer la chose, prenons l'exemple de votre corps durant le sport. Supposons qu'en jouant au tennis, vous subissez un claquage ou une crampe sévère au niveau d'un des muscles de la jambe. Ceci est comparable à une contrainte résiduelle. Si vous continuez à jouer sans réduire la contrainte résiduelle (crampe ou claquage), vous risquez une lésion sévère et peut-être permanente du muscle concerné. Par contre, si vous massez le muscle, lui permettant de se relaxer, vous pourrez peut-être continuer à jouer et finir la partie. Voilà un exemple d'un traitement de détente.

Les contraintes résiduelles sont introduites dans de nombreuses structures et pièces métalliques durant leur fabrication - durant le moulage par suite des forces de contraction au sein de la pièce moulée qui se refroidit, durant le façonnage en raison des caractéristiques élastiques du métal, durant la découpe, car les forces de cisaillement s'accompagnent de déformations, et durant le soudage, meulage, le poinçonnage, l'alésage, l'emboutissage, le perçage, le rabotage, la coupe, le forgeage. Il est particulièrement adapté aux structures de grandes dimensions pour lesquelles une détente thermique serait prohibitive, sinon impossible, et aux pièces usinées de haute précision pour éviter des déformations du métal susceptibles de compromettre des tolérances très exactes.

IV.4.3.Évaluation des contraintes résiduelles :

Au cours des trente dernières années d'importants progrès ont été accomplis dans le domaine de l'évaluation des contraintes résiduelles.

a-Déterminations expérimentales.

Parmi les techniques les plus couramment utilisées on peut rappeler :

- la diffraction des rayons X qui ne permet que des mesures en surface ce qui implique pour avoir des informations sur la répartition en profondeur de réaliser des enlèvements progressifs de matière par usinage chimique. Même si la dimension de la zone analysée a été réduite, cette technique peut conduire à d'importantes dispersions dans les zones à gros grains.

b-Prise en compte des contraintes dans les calculs :

En l'absence de connaissances précises sur la distribution des contraintes résiduelles dans les assemblages soudés conduit le plus souvent à les considérer égales à la limite d'élasticité du matériau ou à appliquer des traitements de dimensionnement.

Il est généralement admis que les contraintes résiduelles s'ajoutent aux contraintes de service. Les contraintes de tension sont donc particulièrement pénalisantes dans les structures sollicitées en fatigues ou lorsque des risques de corrosion sous contrainte existent.

c-Influence des contraintes résiduelles sur la tenue en fatigue :

Dans le domaine des assemblages soudés, la fatigue est abordé soit globalement à partir des courbe $\Delta\sigma$ -N intégrant amorçage et propagation, soit en analysant la propagation d'une fissure au moyen des concepts de mécanique de la rupture.

Des traitements de parachèvement permettant de créer des contraintes de compression dans les zones les plus sollicitées afin de retarder l'amorçage sont de plus en plus utilisés.

IV.4.4. Traitement des contraintes résiduelles :

Le traitement de la structure cristalline consiste à introduire de l'énergie au sein du métal afin de déplacer les atomes et ainsi réduire ces contraintes.

Si la détente thermique est bien connue, il existe également d'autres méthodes de réduction des contraintes résiduelles.

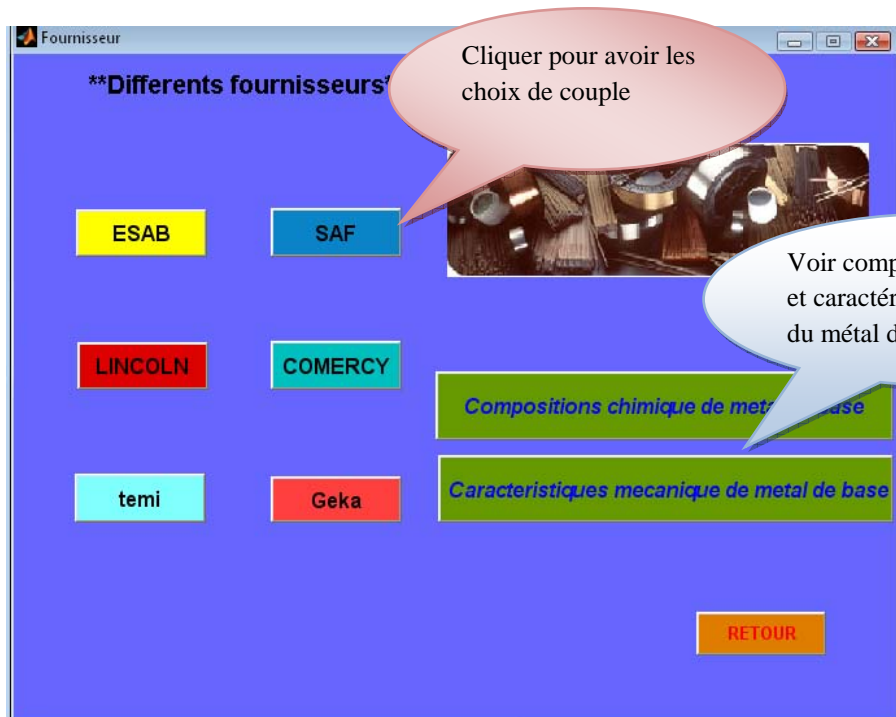
- La méthode thermique utilise des températures élevées pour réduire les contraintes résiduelles.
- On peut aussi détendre une pièce en la laissant vieillir au-dehors. Dans ce cas, l'énergie nécessaire au réarrangement de la structure cristalline provient des faibles mouvements naturels du sol et des fluctuations habituelles de la température. Ce procédé est toutefois incontrôlable et il est difficile de déterminer à quel moment les contraintes ont été suffisamment réduites pour reprendre la fabrication de manière satisfaisante. De plus, lors du vieillissement, les contraintes se dissipent plus vite durant les saisons chaudes et plus lentement durant les saisons froides.
- Avec la méthode vibratoire, la pièce reçoit l'énergie sous forme de vibrations. La structure atomique sous contrainte ne fait aucune différence entre l'énergie thermique et l'énergie provenant des vibrations. L'application de cette énergie modifie la structure, ce qui réduit les contraintes et stabilise la pièce sans la déformer.

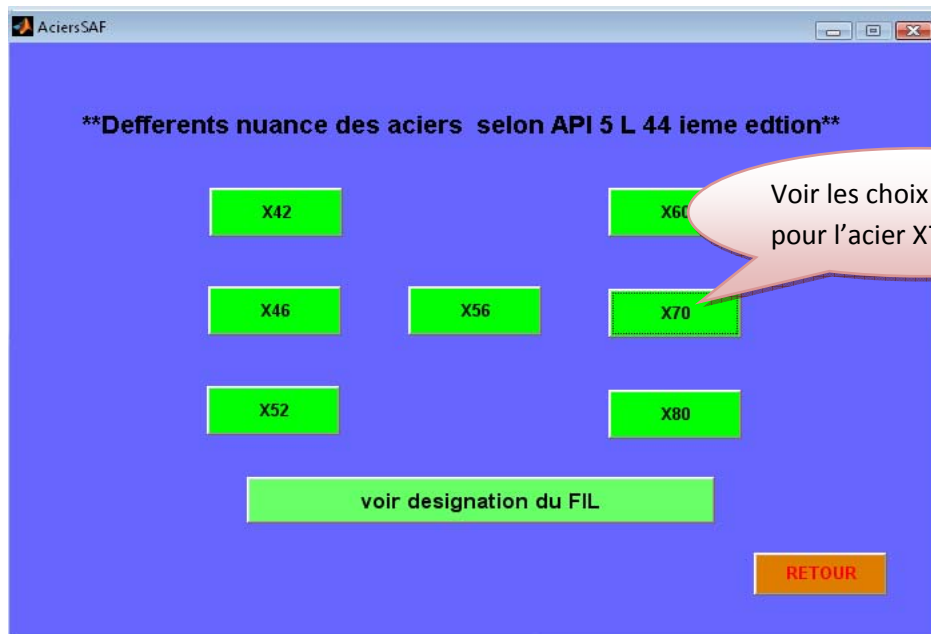
Démonstration sur logiciel :

Ce logiciel est créé pour faciliter le travail de l'ingénieur soudeur et gagner le temps pour mettre une décision précise pour le choix de couple (FIL/FLUX) convenable ou on a chargé ce catalogue par beaucoup de tableaux de composition chimique et les caractéristiques mécaniques du métal, les désignations du fil selon chaque fournisseur, sa composition chimique et ces caractéristiques mécaniques du fil.

L'application sur le logiciel de choix de couple est simple et pratique, juste si de suivre les boutons et choisir le métal préféré à ta commande.







X705

CHOIX DE COUPLE X70

AS 126 1.25%Cr,0.5% Mo / AS 589 | AS 40 A 1%Mn,0.5% Mo / AS 589 | AS 36 2 % Mn / AS 462

Caracteristique mecanique

FIL / Flux	Re (MPa)	Rm (Mpa)	A%
AS 36 2% Mn / AS 462	530	640	28
AS 40 A 1% Mn,0.5 Mo / AS 589	de 550 à 590	de 610 à 650	23 - 28
AS 126 1.25% Cr,0.5% Mo / AS 589	400 - 440	650	21 - 24

Composition chimique

FIL / Flux	C	Si	Mn
AS 3 2%Mn / AS 462	0.12	0.05	2.0
AS 40 A 1% Mn,0.5 Mo / AS 589	0.12	0.07	1.0
AS 126 1.25% Cr,0.5% Mo / AS 589	0.10	0.1	1.0

SORTIR

Prendre le choix convenable

Cliquer ici pour quitter.

CHAPITRE V : EXPERTISE DES PIPELINES

V.1.INTRODUCTION :

Les pipelines acheminent les fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux, sur de longues distances. Le plus souvent enfouies sous la terre, ces canalisations incontournables de par leur poids économique, assurent des débits importants en toute discrétion. Si cette caractéristique est appréciable aux yeux de beaucoup, se pose alors la question de la maintenance de ces moyens de transport. Au-delà de son apparence de simple tuyau, le pipeline est une canalisation particulière qui contribue aux enjeux économiques d'un pays selon la nature du fluide transporté.

V.2.DEFINITION D'EXPERTISE :

Dispositif d'aide à une décision juridictionnelle, publique ou amiable, l'expertise concourt à la recherche des faits techniques ou scientifiques, dans des affaires où le décideur se confronte à des questions hors de sa portée. Elle requiert la conjonction de trois éléments : une mission diligentée, la réalisation de celle-ci et un rapport. Elle demeure indissociable de l'expert, homme de l'art reconnu apte à la mener à son terme et qui fournira un avis décisif. L'expertise peut être confiée conjointement à plusieurs experts (collège d'experts).

V.2.1.L'expert :

C'est le technicien qui possède la maîtrise de sa spécialité pour assurer ses missions d'expertises dans son domaine de compétence.

V.2.2.La formation de l'expert :

Néanmoins, pour être en mesure d'assurer les missions qui leur sont confiées, les techniciens qui souhaitent aborder la fonction d'expert doivent obligatoirement acquérir les connaissances juridiques nécessaires à la conduite des opérations d'expertises.

V.2.3.Classifications de l'expertise :

Indépendamment des nombreux domaines de compétence concernés, on peut répertorier l'expertise selon ses différents donneurs d'ordre - juridiction, assurance, gouvernement... etc.

- Expertise juridictionnelle.
- Expertise sociologique.
- Expertise publique.
- Expertise privée.

Transversalement, ses motivations décisionnelles peuvent la classer :

- Expertise de dommage (réparation).
- Expertise de risques.
- Expertise d'évaluation.

V.2.3.1.L'expertise publique :

Elle a pour finalité l'aide à la décision publique. Elle concerne le plus souvent des domaines d'intérêt général (santé, environnement, défense, etc). Les exemples de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) et de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) représentent le mieux ce type d'expertise.

- Stratégie de distribution.
- La fabrication sans gaspillage.
- Réduction des temps de cycle et besoin en fond de roulement.
- Management de l'innovation.
- Gestion de la chaîne logistique.
- Pilotage de grands programmes de transformation.

V.2.3.2.Problématisation:

- Approfondissement de la problématique et explicitation des concepts utilisés.
- Pertinence de l'approche méthodologique.
- Explicitation de l'instrumentation méthodologique.
- Pertinence de l'approche par rapport au type d'étude.
- Présentation intelligible du matériau recueilli.
- Rigueur et systématisme dans le traitement méthodologique des données.
- Articulation entre la présentation et l'interprétation des données.

V.2.3.3.Résultats :

- Exposition claire des résultats obtenus.
- Considérations sur leur cadre de validité.
- Discussion sur leurs implications sur la recherche.

V.2.3.4.Actualité de la contribution:

- Nouveauté ou attractivité des thèses, des problèmes et des résultats présentés.
- Potentiel d'innovation.

V.3.FABRIQUER UNE EXPERTISE :

Construire une expertise est une activité plus ou moins complexe en fonction de la question posée, du nombre de disciplines impliquées, du degré de connaissance et de consensus sur le sujet et il ne saurait y avoir une procédure optimisée pour toutes les expertises. Par ailleurs, l'utilisation de l'expertise en vue d'une décision publique, d'un débat public ou d'un séminaire et la publicité envisagée des résultats peuvent avoir un impact sur sa construction et sur le contenu final de son rapport. La communication sur les incertitudes et les risques est une nécessité mais présente le risque de faire naître de nouvelles incompréhensions. Les expertises sont souvent complexes et pluridisciplinaires et quelques pratiques organisationnelles communes émergent : mener une expertise suppose en général un organisme qui pilote l'exercice, alloue les tâches et les budgets, choisit les participants, gère les aspects logistiques, a la responsabilité d'assembler les résultats, d'organiser les auditions, d'effectuer un contrôle interne des méthodes utilisées, de veiller à la diffusion des pré-rapports, à leur revue par des « pairs » et de s'assurer de la production du rapport final dans le respect du calendrier. Tous ces aspects peuvent donner lieu à critiques : le choix de l'organisme expert, le choix des experts par celui-ci, la méthode utilisée, le contenu final du rapport, sa publicité, la présentation ou la défense de son contenu.

V.3.1. Organisme d'expertise qui pilote :

L'organisme d'expertise doit savoir organiser et piloter le processus :

- Déterminer l'ampleur du problème.

- Choisir de « bons » participants.
- Choisir une bonne méthode.
- Organiser le travail avec éventuellement divers temps de débat, de recherche, d'expérimentation, de discussion « scientifique » ou « éthique », vérifier la complétude de la réponse et finaliser le rapport dans les temps.
- Il doit aussi être capable de gérer les aléas qui peuvent survenir pendant le processus.
- Les enjeux de pilotage simultané du contenu technique, de la qualité et du management de projet sont assez comparables à ceux des secteurs de l'ingénierie.

V.4.LES PROCEDURES D'EXPERTISE :

Les expertises proposées sont globalement de deux types :

V.4.1.Procédure tierce :

Expertise d'une « démonstration », étude d'impact, étude de sûreté, présentée par le porteur d'un projet -(laboratoire qui veut mettre un produit sur le marché, entreprise qui veut construire une usine ou collectivité qui veut réaliser une route...), ou bien expertise sur une question ouverte sans dossier préalable.

V.4.2.Procédure générique :

Un temps d'analyse par une équipe projet, qui commence par recenser les données sur le sujet, analyse la bibliographie, les pratiques sur des champs voisins ou les visions à l'international, puis utilise ces données pour se forger un avis en effectuant par exemple des calculs de sensibilité et en portant des appréciations sur les questions qui restent ouvertes. A ce stade un projet de rapport est rédigé. Il est présenté ensuite devant une instance qui porte des noms variés selon les cas (collectif d'experts, groupes permanents, commission, «relecture par les pairs »).La procédure dépend en partie de l'exercice et du temps imparti. Elle reprend pour la plupart des organismes les principes de qualité exposés dans « la norme ». Ces principes généraux peuvent s'appliquer à quasiment toute situation. L'expérience montre que les principales critiques proviennent de l'organisation de la réflexion et portent particulièrement sur l'éventuel oubli de certaines dimensions du problème (durée des impacts, interactions, repères éthiques,...), la mention incomplète des hypothèses retenues ou l'insuffisante transparence des méthodes et modèles utilisés ainsi que des conditions de choix des experts et autres parties prenantes.

V.4.3.Des méthodes et des modèles :

Les organismes experts utilisent les méthodes propres à leur domaine d'expertise. C'est en partie la connaissance de ces méthodes -physiques, statistiques ou autres- et des modèles associés qui est la source de leur légitimité, dont la pérennité suppose qu'ils conservent la capacité humaine et matérielle à rester à la pointe dans leur domaine. Ces aspects ont une influence positive sur les échanges entre experts et sur la mise à jour des connaissances.

Toutefois les experts ont tendance à considérer comme connus ces modèles et méthodes et les rapports mettent souvent en lumière les résultats finaux des expertises sans expliciter assez clairement leur méthode.

L'exposé précis, dans les rapports d'expertise, des méthodes, des modèles, des éléments acceptés comme des faits établis et des hypothèses prises faciliterait le réexamen des sujets

concernés grâce à une meilleure traçabilité des données de base et des raisonnements ayant fondé l'expertise et les décisions.

V.4.4.Les participants :

Le choix des membres d'une équipe d'expertise ou d'un collectif d'experts est crucial. Plusieurs problèmes se posent : la qualité des participants, leur nombre, la procédure de désignation des personnes, spécifique ou non, la gestion des conflits d'intérêts.

V.4.5.L'équipe d'expertise :

Les organismes d'expertise ont défini des protocoles d'instruction qui couvrent l'ensemble des cas susceptibles de leur être soumis en fonction de l'urgence et de la nature des interventions demandées. Ils constituent l'équipe d'expertise spécifique, recrutée au sein de leurs effectifs pour répondre à une saisine (étude d'une question, dossier présenté par le demandeur d'une autorisation...). Cette équipe comprend un chef de projet qui est le garant de la qualité du déroulement de l'évaluation et de la bonne préparation du rapport d'expertise qui sera soumis au collectif d'experts d'écrit au paragraphe suivant. Le travail de l'équipe d'expertise est en général collégial et pluridisciplinaire et l'équipe peut recueillir des avis et éléments complémentaires. Le chef de projet veille au budget et au planning des différentes phases de l'expertise. Le cas échéant, le chef de projet apporte en cours d'expertise les modifications au projet, voire à l'équipe, qui apparaissent nécessaires.

V.4.6.Le collectif d'experts :

Le collectif d'experts réunit, comme les équipes d'expertise, une variété de compétences et d'expériences de façon à multiplier les points de vue et à confronter les opinions éventuellement divergentes de ses membres. Y siègent des experts du domaine considéré et souvent des experts non spécialistes du domaine et des représentants de la société civile ; cette pratique qui répond aux demandes d'ouverture vers la société, de pluralisme et de pluridisciplinarité a été adoptée par plusieurs organismes. Le collectif d'experts est un lieu d'échanges et de débats. Il apprécie le contexte du sujet en débat, et en discute les enjeux. Il interroge l'équipe d'expertise sur son rapport, exprime ses critiques et demande éventuellement des compléments. Enfin, il émet par écrit son avis sur ce rapport. Le président du collectif d'experts anime les débats et fait en sorte que l'ensemble des opinions s'expriment. Si le règlement intérieur du collectif le prévoit, il soumet les propositions au vote des membres ; il peut également rédiger les avis du collectif ou veiller à leur élaboration. De plus en plus souvent, les avis et recommandations du collectif d'experts sont traçables et accessibles, y compris les opinions divergentes. L'équipe d'expertise peut modifier son rapport pour tenir compte des avis du collectif d'experts.

Au final, c'est l'organisme d'expertise qui arrête la rédaction définitive du rapport et qui endosse la responsabilité de sa présentation au commanditaire

V.5.PROCESS D' EXPERTISE DES PIPELINES:

V.5.1.Diagnostique des pipelines :

La cause première est la fuite, avec pollution de l'environnement, ou bien risque d'explosion dans certaines configurations mettant en jeu des gazoducs. Egalement les explosions par accumulation dans les endroits confinés. Et puis il y a également le risque humain. Néanmoins le pipeline est

un moyen de transport qui reste un des plus économiques par rapport aux camions ou aux trains et des plus sécuritaires. À partir du moment où celui-ci est bien conçu et bien enterré, il peut fonctionner pendant 40 ou 50 ans, voir plus, en véhiculant en permanence les fluides. À condition de l'entretenir.

V.5.2.Épreuve sous pression :

Afin de garantir la bonne tenue du réseau, il est nécessaire de réaliser une épreuve sous pression tous les 5 ou 10 ans. En quoi cela consiste-t-il ? À la fin de construction d'un ouvrage, on le remplit d'eau et on le teste en pression à, en général, 150 % de la pression d'exploitation à laquelle il va être soumis, que ce soit un oléoduc ou un gazoduc. Les gazoducs, eux, sont ensuite vidangés et séchés avant d'être mis en œuvre. En cas de scénario catastrophe, comme il peut arriver des dégâts à l'environnement, les tests sont effectués avec de l'eau. Lourde de conséquence, ces tests impliquent d'arrêter l'exploitation plus longtemps, trouver de l'eau en quantité suffisante et la retraiter.

V.5.3.La lutte contre la corrosion :

Tout est fait pour lutter contre la corrosion. À la conception, le revêtement extérieur est fabriqué avec du polyéthylène. À la pose, la corrosion est contrôlée, pour être ensuite vérifiée en permanence à la cadence de 6 mois ou un an, à l'aide d'un dispositif de protection cathodique. Des anodes sont posées sur les pipelines. En effet, le phénomène de corrosion est un phénomène de translation d'ions, en général d'une anode vers une cathode. Pour éviter la translation d'ions entre le tuyau et son environnement, le tuyau est raccordé à des anodes et une courante micro-tension lui est injectée. Néanmoins, la protection cathodique n'est que le complément d'un revêtement efficace. Si jamais il y a un défaut dans le revêtement, soit parce qu'il a été arraché à la pose, soit parce qu'il a frotté sur un caillou et qu'il a été percé, les ions vont se diriger vers le champ de l'anode, et c'est l'anode qui va être consommée au lieu que soit l'acier du tuyau. Ces tuyaux sont installés avec des prises extérieures avec lesquelles on vérifie le potentiel en réalisant des relevés à intervalle régulier.

V.5.4.Le pistonnage :

Pour nettoyer ces kilomètres de pipelines, il reste la méthode du pistonnage à intervalle régulier à l'aide d'un racleur. Ce dernier est passé en production, c'est-à-dire lorsque le fluide production (pétrole ou gaz) est véhiculée à l'intérieur des canalisations. Très souvent le racleur circule à une vitesse comprise entre 1 et 2 m/s, mais nous pouvons monter en nettoyage à 3 ou 5 m/s, ce qui produit plus de turbulence derrière. En effet, je considère qu'il y a deux actions dans le nettoyage décrocher les incrustés, et une action de transport qui se fait grâce à la turbulence. Plus celle-ci est importante, plus on transportera loin.

V.5.5.Les racleurs instrumentés :

Un racleur instrumenté se compose généralement de 4 sections fonctionnellement distinctes une unité de traction qui assure l'entraînement du racleur par le fluide transporté, une alimentation électrique embarquée, un système de mesure et un système d'acquisition et d'enregistrement des mesures. Ces différents systèmes sont regroupés dans des éléments reliés entre eux par des cardans assurant la flexibilité de l'ensemble. Cette flexibilité est nécessaire pour que les racleurs

puissent évoluer dans les coudes des canalisations à inspecter. Plus le diamètre de la canalisation est faible, plus il est nécessaire d'étirer les racleurs en longueur et de multiplier le nombre d'éléments afin d'embarquer tous les modules. Ceci conduit à des racleurs pouvant atteindre 6 mètres de longueur. Enfin les racleurs sont équipés d'une ou plusieurs roues codeuses qui permettent d'enregistrer la distance parcourue dans la canalisation afin de positionner ultérieurement les signaux relevés. Ils sont aussi souvent équipés d'un pendule qui permet de connaître l'orientation de l'outil à tout instant.

V.6.LA PROTECTION CATHODIQUE D'OUVRAGES ENTERRES OU IMMERGES :

La protection cathodique complète de manière absolue la protection passive du revêtement et ceci quelles que soient les modifications de l'environnement des ouvrages dans le temps :

- blessures des revêtements externes dues à des travaux réalisés par des tiers,
- modification de la résistivité du sol suite à une pollution accidentelle, aux variations du niveau des nappes phréatiques.
- nouvel environnement électrique tel qu'un nouveau réseau sous protection cathodique (gaz, pétrole...). [18]



V.7.EXEMPLE D'UNE EXPERTISE :

En 1977, la société algérienne d'électricité et du gaz (SONELGAZ) a hérité du gazoduc à haute pression Ø 20'' Relizane – Maghnia. L'exploitation, de cet ouvrage stratégique pour le Nord Ouest du pays, permet aux clients se trouvant le long de son tracé de s'alimenter en Gaz naturel (voir Figure V.1). Sachant que la réalisation de ce type d'ouvrage est conditionnée par des règles de sécurité très sévères. Des anomalies ont été décelées sur le gazoduc dès sa réception en 1977, telle que l'inefficacité du système de protection passive et active et surtout par la présence d'une grande quantité d'eau et déchets solides à l'intérieur du gazoduc (après l'opération du ramonage). Tout en mettant en gaz le gazoduc, la direction de transport du gaz a élaboré un programme de réhabilitation, pour satisfaire les meilleures conditions d'exploitation de l'ouvrage. Ce programme comprend l'expertise de l'ouvrage en matière de protection passive et active et son inspection par outil intelligent. Les résultats obtenus ont permis à entreprendre les actions nécessaires pour la remise en état de l'ouvrage. Ces programmes ont permis d'une part d'exploiter le gazoduc et

d'autre part de mieux maîtriser les techniques de protection, la détection des défauts du revêtement et la réparation de ces derniers ainsi que les parties du gazoduc corrodées.

1. IMPORTANCE DE L'OUVRAGE :

Le gazoduc Ø20'' Ouest a une longueur totale de 273,524 Km et une épaisseur de 7,92 mm. Il est revêtu par deux types de revêtement ; brai de houille sur 88,920 Km et le reste en brai de pétrole. Le gazoduc est sectionné en trois tronçons Relizane – Sig (77,074 km) Sig – Hammam Bou hadjar (76,303 Km) Hammam Bou hadjar – Maghnia (120,251 Km).

2.1^{er} NECESSITE D'UNE REHABILITATION :

Le gazoduc a été réalisé au début des années 1970. Avant sa mise en gaz (1977), trois importants faits ont été constatés :

- L'inefficacité du système de protection existant (un transfo-redresseur fonctionnait sur les neuf existants).
- L'opération de ramonage a permis de récupérer une énorme quantité d'eau et déchets solides. Ce qui laisse supposer que le gazoduc n'a été ni nettoyé ni séché.
- La mise en gaz du troisième tronçon Hammam Bou hadjar – Maghnia a provoqué une fissuration de la paroi supérieure du gazoduc (révélé après expertise comme étant un défaut de fabrication du tube).

Devant cette situation la direction du transport du gaz a décidé d'entamer un programme de Réhabilitation par :

- Une expertise du gazoduc en matière de protection cathodique (après avoir remis le système de protection existant en état de marche).
- Une inspection du gazoduc par l'outil intelligent (principe du MLF).

2.1. Expertise du gazoduc :

1^{er} étape :

Le principe de la protection cathodique étant universel, il fallait atteindre en tous points du gazoduc le seuil de protection soit un potentiel au moins égal ou inférieur à un potentiel de (-850 mV) par rapport à l'électrode de référence Cu/CuSO₄. Pour cela un renforcement a été conçu par l'apport de six nouveaux transfo-redresseurs et de quatre vingt quatre anodes en Magnésium pour assurer la protection du gazoduc.

2^{ème} étape :

La série de mesure du potentiel du gazoduc par rapport à l'électrode de référence en Marche/Arrêt (ON-OFF) portée sur un diagramme en fonction de la prise kilométrique du gazoduc (P.K) permettait de localiser les creux de potentiel, indiquant ainsi la probabilité d'existence des défauts de protection passive ou active. Partant de cette base une recherche de défaut de revêtement par la méthode de Gradient de potentiel à courant continu (GVDC) a révélé une importante quantité de défauts. (Voir Figure V.2 défaut de revêtement). Il n'a été décidé de réparer les défauts de revêtement qu'après le passage de l'opération de l'outil intelligent. A signaler aussi les fuites de gaz décelées lors de la mise en œuvre des anodes en Magnésium au niveau du P.K 70,740 (zone marécageuse).

Coût de l'opération : 151.360 US \$.

2.2 Inspection du gazoduc par l'outil intelligent :

L'inspection a eu lieu en 1979. Des points de corrosion ont été décelés et sont résumés dans le tableau ci dessous (à noter qu'à cette date le gazoduc avait une longueur de 265,628 km) :

P.K	points de corrosion		
	GR.1	GR.2	GR.3
Relizane - Sig : 0.000 au 73.700 (1 ^{er} tronçon)	325	286	318
SIG - H.B.H : 73.700 au 147.7 (2 ^{er} tronçon)	498	225	152
HB.H - Maghnia : 147.7 au 265.628 (3 ^{er} tronçon)	66	19	4
Relizane - Maghnia : 0.00 au 265.628	889	530	474

Dès l'obtention des résultats de l'inspection la pression de service a été réduite à la pression déterminée par la méthode de calcul GDC en prenant comme base de calcul les caractéristiques du plus sévère point de corrosion.

Tous les points de corrosion de grade 2 et 3 ont été réparés par l'une des méthodes Préconisaient par GDC : (voir Figure V.3 : photo du gazoduc atteint par la corrosion de grade 2).

- Rechargement.
- Demi-coquilles (forme A ou B) (voir Figure.4) pour une réparation par demi-coquille et (Figure.5) pour un demi-manchon boulonné pour arrêter une fuite de gaz).
- Renouvellement de tronçons les plus sévèrement touchés (cut out). Le dernier mode a permis un remplacement de: (longueur de tubes).
- 42,457 Km par 45,419 Km pour le premier tronçon.
- 31,965 Km par 34,201 pour le deuxième tronçon.

C'est alors que le gazoduc est passé de la longueur de 265,628 Km à 273,524 km.

Coût de l'opération d'inspection par outil intelligent : 400.840 US \$.

Coût de l'opération de renouvellement des 79,62 Km : 15.389.140 US \$.

3. 2^{ème} NECESSITE D'UNE REHABILITATION :

Durant les années 1980, l'Algérie et plus particulièrement sa région Nord ouest, a connu une forte sécheresse. Ceci a affecté d'une manière considérable les systèmes de déversoirs (anodes sacrificielles), réduisant ainsi les portées du transfo – redresseur sont retrouvées alors sans protection. Comme les points de corrosion de grade 1 n'ont pas été réparés (sauf ceux qui étaient compris dans les tronçons renouvelés ou réparés) leurs évolutions étaient pressenties. En 1988 on a décidé d'inspecter une deuxième fois le gazoduc par outil intelligent. Ceci permettait d'évaluer son état et surtout l'évolution des points de corrosion de grade 1 apparus lors de la première inspection. Les résultats de l'opération sont résumés dans le tableau ci dessous :

P.K	points de corrosion		
	GR.1	GR.2	GR.3
Relizane - Sig : 0.000 au 73.700	1087	55	18

SIG - H.B.H : 73.700 au 147.7	137	17	5
HB.H - Maghnia : 147.7 au 235.323	350	13	4
Relizane - Maghnia : 0.00 au 235.323	1604	85	27

Les résultats ont montré que le premier tronçon était le plus touché par la corrosion. Ceci est expliqué Par :

- L'arrêt fréquent des transfos – redresseurs (pannes).
- Résistivité du terrain très variables (zones : marécageuses, sèches ...).

Un programme de réparation lancé pour réparer les points de corrosion de grade 2 et 3 par l'une des méthodes de GDC citées précédemment. Il a touché seulement 53 points sur les 112 existants car le gazoduc a fait objet d'une étude de proposition de renouvellement (vieillessement du revêtement).

- Coût de l'opération d'inspection par outil intelligent : 400.840 US\$.
- Réparation de 53 points de corrosion : 8.000 US\$.

Suite au refus du projet de renouvellement, un troisième programme de réhabilitation a été entrepris.

4. 3^{ème} NECESSITE D'UNE REHABILITATION :

Le programme consistait à :

- La poursuite du programme de réparation des points de corrosion
- Les campagnes de recherches de défauts de revêtement par la méthode GVDC ont été reconduites (suivies de leurs réparations).
- Renforcement de la protection cathodique par de nouveaux transfos -redresseurs [en renouvelant les déversoirs consommés avec introduction des systèmes d'arrosage des déversoirs (pour réduire leurs résistances)].
- Inspection du gazoduc par outil intelligent en 98.

4 – 1 Réparation des points de corrosion restants :

Le coût de réparation des points de corrosion : ≈9,3 K\$.

Remarque : 3 points de corrosion de grade 3 et 19 points de grade 2 sont en cours de réparation.

4 – 2 Recherches de défaut de revêtement :

Les recherches de défauts ont été effectuées par la méthode GVDC et ont touchés les tronçons N° 2 et 3 (le N° 1 sera pris en charge durant le mois de Janvier 2000). Les résultats sont résumés sur le tableau ci- dessous :

Année	P.K	Nombre de défaut trouvé
1995	140.053 au 141.378	63

1996	134 au 133.305	160
1996	194.453 au 195.295	40
1996	220.005 au 222.535	71
1996	225.9 au 227.105	8

Le coût globale des recherches a coûté : $\approx 4,5$ K\$.

Les réparations ont permis le renouvellement du revêtement sur une longueur totale de 138 m. le coût de cette opération est de : ≈ 7 K\$.

4 – 3 Protection cathodique de l'ouvrage : L'étude a aboutis aux actions suivantes :

- Renforcement par trois Transfo – redresseurs.
- Remplacement de cinq T.R existants par d'autres plus puissants.
- Réfection de six anodes déversoir.
- Installation de six systèmes d'arrosage pour les anodes déversoir.

Coût de l'opération : soit ≈ 92.300 \$.

4 – 4 Inspection par Outil intelligent :

L 'inspection a commencé en mois d'octobre **99** et pour des raisons techniques elle est achevée en décembre 99 et a coûté : 577,8 K\$.

Les résultats de l'inspection par outil intelligent de l'an 99 a aboutis à de nouvelles actions à entreprendre c'est à dire la réparation de tous les points de corrosion de grade 2 &3 ou si nécessaire le renouvellement des tronçons corrodés.

CONCLUSION :

La réhabilitation progressive de ce gazoduc a permis son exploitation et une continuité de service grâce à la maîtrise de ses points faibles. La connaissance de l'état de corrosion au niveau des différents points du gazoduc a permis :

- a – De réduire la PMS à un seuil de sécurité permettant d'assurer une alimentation globale de la clientèle.
- b – D'établir un programme de réparation tenant compte d'une réhabilitation progressive.

Par ailleurs, les investigations entreprises ont permis d'acquérir une bonne maîtrise dans les différentes interventions sur les gazoducs en exploitation, que ce soit les techniques de protection ou les recherches de défauts de revêtement et la réparation de ces derniers ainsi que les parties du gazoduc corrodées. [19]

Fig 1 : Tracé du Gazoduc Ø 20" Relizane - Meghnia.

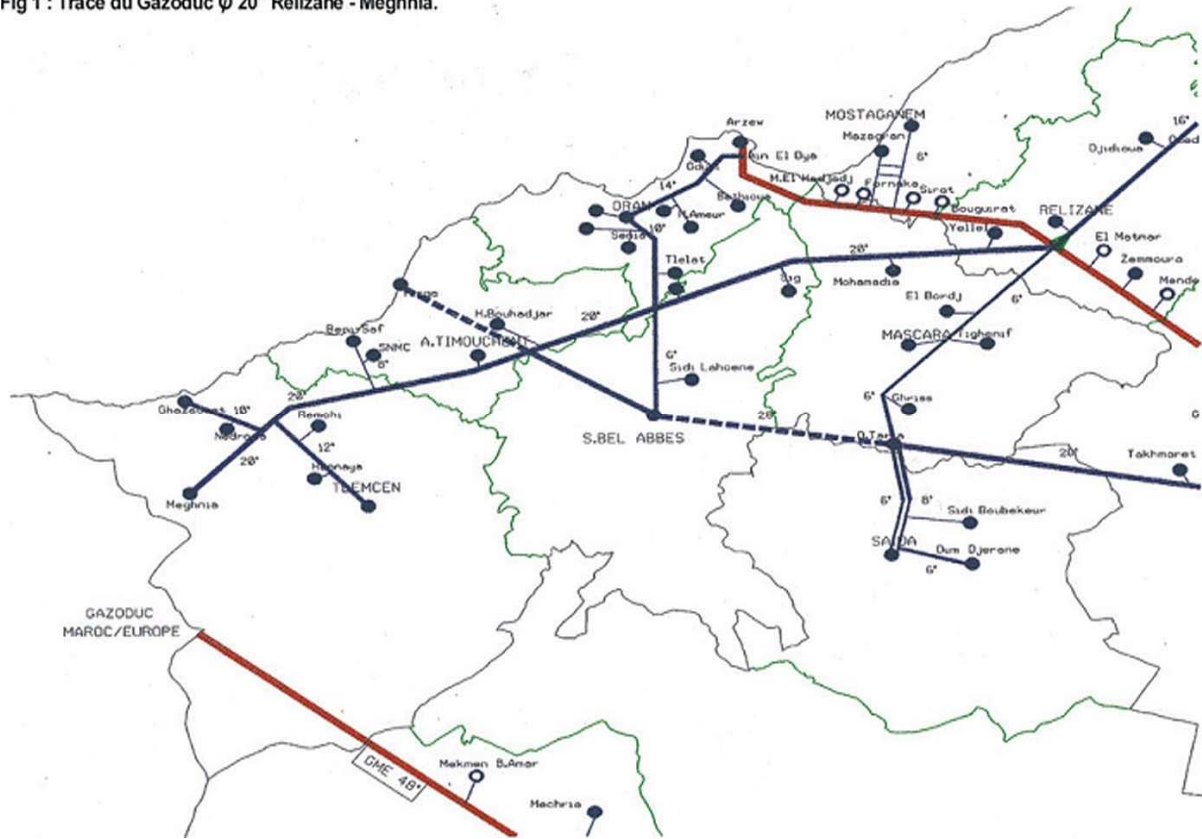


Figure V.1 : Tracé de gazoduc Ø 20" Relizen-Mghnia.



Figure V. 2 : Défaut de revêtement localisé par la méthode GVDC.



Figure V.3 : Multitude de points de corrosion de grade 2.



Figure V. 4 : Opération de soudage des demi-coquilles.



Figure V.5 : vue en plan d'un demi manchon boulonnée pour arrêter la fuite de gaz.

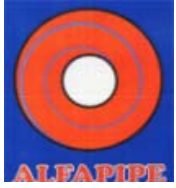
Conclusion :

Le présent travail décrit les différents gammes de choix de métal d'apport (couple Fil /Flux) pour le soudage des tubes de pipe par le procédé (SAW) et représente un recueil indispensable non seulement pour l'entreprise ALFA PIPE mais aussi pour toutes les spécialités soudage par ce procédé.

En effet, ce modeste travail consiste principalement à l'élaboration d'un logiciel souple et très pratique pour la simulation et la prédiction du comportement du métal de base par un choix de couple qui convient et par conséquence, on a des gains considérables en matière de temps, d'effort (réduire les essais pratique pour les différents couple) et d'argent...etc.

Dans notre étude on a essayé à améliorer la qualité de soudage. Ou on a proposé un logiciel qui permet de faciliter le travail à l'ingénieur soudeur à base de catalogue informatisé et donner une large bande de choix de couple et prendre le mieux.

Enfin, nous souhaitons que cette étude soit entendu aux cas des aciers à carbone (0.25% à 0.6%) et les aciers à haute teneur en carbone (plus de 0.6% de carbone) et quelle soit approfondi dans d'autre procédés de soudage TIG, MAG...etc.



TUBERIE DE ANNABA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba

Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91

Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

Essais couple fil et flux ESAB

Réf : FLUX OK 10.77

Réf : FIL OK Autord 12.24 (Ø 4.0 mm pour Int et Ext.)

Les essais du couple fil et flux ESAB sont effectués sur la nuance X70.
Epaisseur 14.30mm et diamètre 48"

Machine à souder M6

Tube N°BS81 avec les paramètres de soudage comme suite :

	TENSION	INTENSITE	VITESSE
INTERIEUR	30V - 31V	775A – 785A	0.75 m/min
EXTERIEUR	36V - 37V	780A – 800A	

1 – Etat du cordon visuel : CORDON BON

2 – Décollement de laitier : BON

Résultats du contrôle visuel, RX-I et RX-II

N° TUBE	Contrôle visuel de la soudure	Contrôle RX-I	Contrôle RX-II
N°BS81	RAS	RAS	RAS



TUBERIE DE ANNABA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba

Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91

Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

Les tubes du N°BS82 et BS83 avec les paramètres de soudage comme suite :

	TENSION	INTENSITE	VITESSE
INTERIEUR	30V - 31V	800A – 810A	0.80m/min
EXTERIEUR	33V - 34V	895A – 900A	

1 – Etat du cordon visuel : BON

2 – Décollement de laitier : BON

Résultats du contrôle visuel, RX-I et RX-II

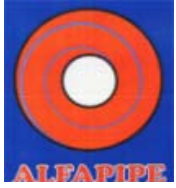
N° TUBE	Contrôle visuel de la soudure	Contrôle RX-I	Contrôle RX-II
N°BS82	RAS	RAS	RAS
N°BS83	RAS	RAS	RAS

tube N°BS84 avec les paramètres de soudage comme suite :

	TENSION	INTENSITE	VITESSE
INTERIEUR	30- 31V	800A	0.85 m / min
EXTERIEUR	33-34V	880A	

1 – Etat du cordon visuel : BON

2 – Décollement de laitier : BON



TUBERIE DE ANNABA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba

Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91

Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

Résultats du contrôle visuel, RX-I et RX-II

N° TUBE	Contrôle visuel de la soudure	Contrôle RX-I	Contrôle RX-II
N°BS84	RAS	RAS	RAS

Les tubes du N°BS85 et BS86 avec les paramètres de soudage comme suite :

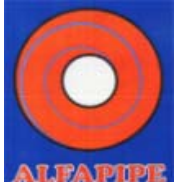
	TENSION	INTENSITE	VITESSE
INTERIEUR	35V - 36V	800A – 810A	0.915m/min
EXTERIEUR	35V - 36V	890A – 900A	

1 – Etat du cordon visuel : BON

2 – Décollement de laitier : BON

Résultats du contrôle visuel, RX-I et RX-II

N° TUBE	Contrôle visuel de la soudure	Contrôle RX-I	Contrôle RX-II
N°BS85	RAS	RAS	RAS
N°BS86	RAS	RAS	RAS



TUBERIE DE ANNABA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba

Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91

Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

CONCLUSION :

Suite aux essais effectués sur les tubes de diamètre 48Ø , épaisseur 14.30mm ,
Nuance X70 avec un couple de fil et flux « ESAB » .

Flux : OK 10.77

Fil : OK Autord 12.24

Les résultats obtenus sont concluantes à une vitesse de 0.75m/min. Ce couple peut
Être utilisé pour un acier X70, une marche industrielle et souhaitable.

ALFAPIPE

Mr TALBI DT

KIMECHE Ing/soud (annaba)

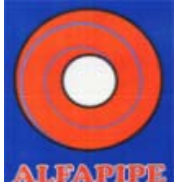
HADJE AMAR Ing/soud (Ghardaia)

CHILA Chef Dépt / Fab

ESAB

KARIM .KARALI DIR / com /ESAB

SVEN ANDERERSSON Ing / ESAB



TUBERIE DE ANNABA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba

Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91

Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

La date : 05 / 03 / 2011

COMPTE RENDU D'ESSAIS :

PV N° : 002

Participants :

MM	M. TALBI	Directeur technique
	A.MESSAI	Directeur technique
	G. KARIM	Directeur commercial ESAB
	SVEN ANDERSSON	Technicien ESAB
	HADJ AMAR	Ingénieur / soudeur (GHARDAIA)
	T. KIMECHE	Ingénieur / soudeur (ANNABA)

Diffusion :

MM	BOUHDJAR	Directeur d'unité Annaba
	TIAR	Directeur d'unité Ghardaïa
	KEHIT	Chef Dpt Assurance Qualité
	SELMKOUR	RESPONSABLE Des Approvisionnements
	PARTICIPANTS	

OBJET : ESSAIS DE SOUDAGE DU COUPLE FIL – FLUX « ESAB »

Les essais se sont déroulée a la tuberie d'ANNABA le 04/04 /2011 et le 05/ 04 / 2011, sur la MAS B, Réglée en diamètre 48'' alimentée en bobine SEVERSTAL, X70 d'épaisseur 14.3mm.

الجزائرية لصناعة الأنابيب

Algérienne de Fabrication de Pipe

ALFAPIPE



TUBERIE DE ANNABA

Certifiée API Q1 et ISO 9001

BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba

Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91

Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

**TUBERIE DE ANNABA**

Certifiée API Q1 et ISO 9001
BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba
Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91
Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

DIRECTION TECHNIQUE
DEPARTEMENT FABRICATION

ALFAPIPE LE : 11 / 04/ 2011.

A L'ATTENTION DE Mr MESSAI / DIR TEC

OBJET : RAPPORT D'ESSAI DU COUPLE FIL / FLUX « LINCOLN »

FLUX : IPNCL-332

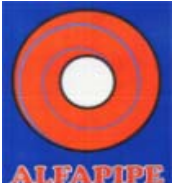
FIL : LNS 140A

Monsieur ;

Je vous transmets ci-joint un rapport relatif à l'essai du flux de soudage **PNCL-332** associer au fil de soudage **LNS140A** et matériau **X70M PSL2** , que nous avons effectués sur le tube 214 de la machine à souder C.LE 11 / 04 / 2011 ,Avec une vitesse de **0.80 m/min.**

Ce tube a subi les contrôles ci-après :

- Contrôles non destructifs.
- Contrôles destructifs.

**TUBERIE DE ANNABA**

Certifiée API Q1 et ISO 9001
BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba
Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91
Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

Résultats :**1 – Contrôles non Destructifs :**

- **Contrôle visuel** : un bon aspect du cordon de soudage INT et EXT sans défauts à signaler (voir Diapo1 et Diapo2).
- **Contrôle Radioscopique** : 100 %

Sans défauts à signaler.

2 – Contrôle Destructifs :

- **Macrographie** :

La somme de pénétration est de 1.22

Bonne interprétation des cordons de soudures (voir le rapport d'essai macro)

- **Essai de Dureté** :

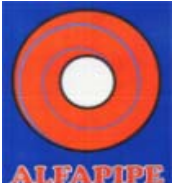
Résultats conformes selon le p.v du LABO .

- **Essais de Traction et Pliage** :

Résultats des essais de traction conformes selon le p.v du LABO .Pliage endroit et envers satisfaisant.

- **Essais de Résiliences** : (-10°)

Ce couple nous a permet des résultats un peut faibles par rapport aux exigences de client (voir le p.v du LABO).

**TUBERIE DE ANNABA**

Certifiée API Q1 et ISO 9001
BP 153 EL-HADJAR 23000 Annaba
Tél. : (213).038.87.10.87 / (213).038.87.17.40/038.87.10.60.038.87.23.91
Fax : (213).038.87.18.40 /038.87.23.91

Conclusion :

Suite aux essais effectués sur le tube C214 de diamètre 48", épaisseur 12.7mm, nuance X70M PSL2 avec un couple de Fil et Flux «LINCOLN».

FLUX : IPNCL-332 OU FLUX 410

FIL : LNS 140A

Vitesse de soudage : 0.80m/min

Les résultats obtenus ne sont pas tout à fait concluantes vu les faibles valeurs des Résiliences.

INGENIEUR DE SOUDURE :

KIMECHE .T

Annexe :

Cas réel et pratique pour un bon et mauvais choix de couple (fil/flux) pour le soudage d'acier à haute limite d'élasticité (X70) réalisé au niveau de ALFAPIPE Annaba .

- Le bon choix c'est : avec un couple du fournisseur ESAB 10.73/LNS140A).
- Le mauvais choix est : avec un couple du fournisseur LINCOLN (IPNCL-332/LNS 140a).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] www.acteindustrie.fr/doc/MBF.pdf.
- [2] web-serv.univ-angers.fr/docs/etudquassi/Fiabilite.pdf.
- [3] Evaluation de la fiabilité des tubes en Polyéthylène
Rabia KHELIF* Kamel CHAOUI* & Alaa CHATEAUNEUF
* LR3MI, Département de Génie Mécanique., Université Badji Mokhtar,* BP 12, Annaba, 23000, Algérie. Marseille 24-28 aout 2009.
** Polytechnique de Clermont Ferrand, LGC – UBP, Complexe Universitaire des Cézeaux, BP 206,63174 Aubière Cedex, France.
- [4] page.infinet.net/gb/elaborat.htm.
- [5] www.centerblog.net/actualite/59339-17.
- [6] Fr.wikipedia.org/wiki/Acier.
- [7] Documentation de l'entreprise ALFAPIPE 2009.
- [8] Mémoire Founas Badre Eddine productique mécanique promotion 2010.
- [9] Qualité des assemblages soudés (Claude Philip) ENSAM (CER de Bordeaux).
- [10] mémoire Hadji Mostapha Maintenance industriel promotion 2010.
- [11] Documentation de l'entreprise ALFAPIPE ANNABA.2010.
- [12] www.bil-ibs.be/fr/metallerie/pdf/Metallerie126.pdf.
- [13] www.weldteam.com/file/.../metal%20d'apport%20ee49182.pdf.
- [14] www.univ-ubs.fr/limatb/EG2M/Disc_Seminaire/Materiaux_2006/Bousseau-Marc.pdf.
- [15] www.mesures-and-co.com/pdf/avis_expert/35_CEM_13_AE_Belahcene.pdf.
- [16] www.espace.etsmtl.ca/53/4/HACINI_Ly%C3%A8s-web.pdf.
- [17] www.canteach.candu.org/library/20070600.pdf.
- [18] www.fr.wikipedia.org/wiki/Expert.
- [19] Exemple d'expertise SONNATRACH gazoducs.2010.

RECOMMANDATIONS :

1- Nous proposons un réseau de communication informatiser au niveau de tous les ateliers pour améliorer les données du produit (réponse rapide au problème posé).

2-Prévoir un système de détection des défauts au court de la production dans le but d'appelerdes actions correctives immédiate.

