

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

THÈME

***Présentation des techniques de détection
de défaillances par Contrôle Non Destructif
des équipements du complexe GL1/Z***

Préparé par: HEBICHE Messaouda & BERROUANE Halima

Soutenu le 09/07/2019

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
-MAKHFI SOUADE	MCB	UIK TIARET	Président
-ATHMANI HOUARI	MAA	UIK TIARET	Examineur
-BENAMAR BADR	MAA	UIK TIARET	Encadreur

PROMOTION 2018 /2019

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

A mes chers parents,

*Qui par leurs amours, leurs précieux conseils, leurs compréhensions,
et leurs soutiens, m'ont guidé vers la voie de la réussite.*

A mes frères & sœurs

A l'ensemble de ma famille,

*Pour leurs aides précieux, leurs encouragements et leurs confiances
indéfectibles qu'ils ont su me porté, spécialement mon adorée Djihan*

A mon binôme Halima

A toutes mes amies

Khadra, Fatima, Nardjis, Siham, Hanan, Touta, Nadjet, Widad

A mes camarades des études

Spécialement de la spécialité Maintenance Industrielle

Promotion 2018/2019

Sans oublier tous mes enseignants

Hebiche Messaouda

Dédicaces

Je dédie très fièrement mon projet comme épreuve de reconnaissance,

A mes très chers parents

*Qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un modèle exemplaire
de labeur et de persévérance,*

A mes chers frères

Tami et NourElimane,

A mes tantes

Pour leur soutien, patience et tendresse,

A mon binôme Messaouda,

A mes cousins et toutes mes amies

Naima, NourElimane, Malika, et Nadia,

A mes camarades des études

Spécialement de la spécialité Maintenance Industrielle

Promotion 2018/2019

Sans oublier tous mes enseignants

Berrouane Hafima

Remerciements

*Nous remercions **ALLAH** le tous puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.*

*Nos vifs remerciements à notre encadreur monsieur **BENAMMAR Badr** de nous avoir proposé cette thématique d'étude et de nous avoir dirigé durant toute la période de préparation de ce mémoire.*

*Nous tenant à remercier maîtres de stage **M. REZIGUI** et **M. STALI** pour leurs aides précieuses durant notre stage pratique. Sans oublier d'exprimer notre gratitude envers toute l'équipe du complexe de liquéfaction **GLI/Z**.*

Nous remercions les membres du jury de nous avoir honoré par leur participation à l'examinassions de notre travail.

On ne peut oublier en aucun cas tous nos enseignants du département de Génie Mécanique qui ont contribué à notre formation et spécialement l'équipe pédagogique de la spécialité Maintenance Industrielle.

*Un profond merci à M. **GUEMOUR Mohamed** chef de département de Génie Mécanique pour tous ses sacrifices, sa patience envers nous, sa volonté et ses encouragements.*

A tous nos collègues et amis qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail et à en faire de celui-ci un plaisir, retrouvent ici l'expression de notre parfaite considération et notre gratitude la plus sincère.

Sommaire

Abréviation.....	i
Liste des figures et tableaux.....	ii

INTRODUCTION GENERALE.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I: Présentation de l'entreprise

I.1. Introduction.....	4
I.2. Présentation du complexe GL1/Z.....	4
I.2.1. Un aperçu historique.....	4
I.2.2. Capacités.....	5
I.2.3. Situation géographique du complexe.....	5
I.2.4. Fiche technique.....	6
I.2.5. Caractéristiques.....	6
I.3. Organisation du complexe.....	7
I.4. Organigramme de complexe GL1/Z.....	8
I.5. Description des départements.....	9
I.6. Mission du département maintenance.....	9
I.7. Organigramme de département de maintenance.....	9
I.8. Schéma de procédé de liquéfaction.....	10

Chapitre II: Technique de CND dans GL1/Z

II.1. Introduction	12
II.2. Les techniques de CND utilisé dans le GL1/Z.....	12
II.3. Examen visuel.....	13
II.4. Essai de Ressuage	15
II.5. Magnétoscopie	18
II.6. Contrôle par Ultrasons	21
II.7. Contrôle par la Radiographie	25

Chapitre III: Etude des cas : applications

III.1. Introduction	31
---------------------------	----

Sommaire

III.2. Etude de cas 1 :	
Détection de défaut de diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20	
Par ressuage	31
III.2.1. Diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20.....	31
III.2.2. Les critères du choix de technique de ressuage.....	33
III.2.3. Méthode d'application.....	33
III.2.4. Présentation des résultats.....	34
III.2.5. Analyse de résultats	35
III.3. Etude de cas 2 :	
Détection des défauts de la boîte de distribution de l'échangeur principal	
E520 par la magnétoscopie	36
III.3.1. Echangeur principale E520.....	36
III.3.2. Les critères de choix de technique de magnétoscopie.....	38
III.3.3. Méthode d'application.....	38
III.3.4. Présentation des résultats.....	39
III.3.5. Analyse des résultats.....	40
III.4. Etude de cas 3 :	
Détection des défauts des lignes de gaz DR-X0405-904 de l'échangeur	
E05.26A par la radiographie	40
III.4.1. La ligne de gaz DR-X0405-904.....	41
III.4.2. Les critères de choix de technique radiographie.....	42
III.4.3. Méthode d'application.....	42
III.4.4. Présentation de résultats.....	43
III.4.5. Analyse des résultats.....	44
CONCLUSION GENERALE	46
Références	49
Annexes	

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1 : Situation géographique du complexe GL1/Z.....	6
Fig. I.2 : Organigramme de la complexe GL1 /Z.....	8
Fig. I.3 : Organigramme de département de maintenance.....	9
Fig. I.4 : Schéma du procédé de liquéfaction.....	10
Fig. II.1.Organigramme de différent type des techniques de CND.....	13
Fig. II.2. Fibroscope flexible.....	14
Fig. II.3. Endoscopie l'appareil pour examen visuel.....	15
Fig. II.4. Les phases d'application du contrôle par ressuage.....	16
Fig. II.5. Les produits utilisés en ressuage.....	17
Fig. II.6. Contrôle par magnétoscopie.....	20
Fig. II.7. Schéma de principe du CND par ultrasons.....	22
Fig. II.8. Prise d'épaisseur appareil de CND par ultrasons.....	24
Fig. II.9. Impression sur le film radiographique de l'image du défaut.....	26
Fig. II.10. Principe de la radiographie des soudures.....	27
Fig. II.11. Radioscopie sur écran amorphe, Acier au carbone, Épaisseur du joint 12 mm (avec RX 150 kV).....	27
Fig. II.12. Radio numérique sur plaques phosphorées, Acier au carbone, Épaisseur du joint 4 mm (avec RX 100 kV).....	28
Fig.III.1. Diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20	32
Fig.III.2. Diagramme schématique de compresseur MCR1	32
Fig.III.3. Photo de la fissure avant meulage	34
Fig.III.4. Photo de la fissure après le meulage	35
Fig.III.5. Echangeur principale E520.....	36
Fig.III.6. Diagramme schématique de l'échangeur principal E520	37
Fig.III.7. Photo de fissure après le contrôle magnétoscopie	39
Fig.III.8. les lignes de gaz	40
Fig.III.9. Caractéristiques des lignes	41
Fig.III.10. Radioscopie sur écran amorphe Acier au carbone, Épaisseur du joint 5,49 (avec RX 300 kV)	44

Abréviations

API : American Petroleum Institute.

CND : Contrôle Non Destructif.

D.P.M : la différence de potentiel magnétique.

DCS : Distributed Control System.

DMOS : Descriptif Mode Opérateur de soudage.

GNL : Gaz naturel liquéfié.

GNT : gaz naturel traité.

IQI : indicateurs de qualité d'image.

MCR : composant à réfrigérant multiples.

MT : Magnétoscopie.

PT : Essais de ressuage.

QMOS : Qualification Mode Opérateur de soudage.

QS : Qualification soudeurs.

RT : Radiographique.

RX : d'appareils émetteurs.

SONATRACH : société national de transport et commercialisation des hydrocarbures.

TI : service technique.

UT : Contrôle par ultrasons.

VT : Examen visuel.

.

Introduction générale

Les processus industriels et les pièces fabriquées sont devenus de plus en plus complexes et exigeants en terme de qualité et de sécurité. La défaillance de ces pièces peut entraîner des conséquences plus ou moins importantes. Souvent, bon nombre d'industriels utilisent des contrôles non destructif (CND), pour la détection des défauts de structure résultants soit d'une mise en œuvre, soit durant le fonctionnement. Donc les techniques de CND sont devenues une nécessité industrielle.

Les tests de CND appliqués visent principalement à contrôler la qualité des pièces inspectées sans les endommager. L'enjeu du CND est aussi d'ordre économique : la rapidité et la fiabilité des techniques employées sont capitales pour la réduction des coûts de maintenance et l'optimisation de la durée de vie des installations.

Vu la diversité et la complexité des systèmes et des pièces soumis au contrôle, plusieurs méthodes de CND ont été élaborées, et restent un champ privilégié de la recherche scientifique. Ces techniques d'inspection sont très variées par leurs caractéristiques de fonctionnement ainsi que dans leurs performances. Elles possèdent chacune leurs avantages et leurs inconvénients; occupant ainsi, des champs d'applications différents, parfois complémentaires. Selon les contraintes imposées pour une inspection type, certaines techniques sont ainsi plus aptes que d'autres pour des raisons pratiques de performance, d'économiques et de sécurité.

Le présent projet de fin d'étude qu'on a mené à terme, s'inscrit dans le cadre de présentation des techniques de détection de défaillances au niveau du complexe GL1/Z d'Arzew. Dans ce manuscrit on a présenté une partie théorique sur les techniques du contrôle non destructif et une partie résumant la pratique des techniques qu'on a réalisées au sein du complexe. Dans le but de présenter aux lecteurs l'efficacité de la détection des défaillances par les techniques de CND dans des structures à haut niveau de vigilance et d'une importance économique stratégique.

Ainsi bien structurer, notre manuscrit sera divisé en trois chapitres, dont le premier sera consacré à la présentation du complexe GL1/Z lieu où s'est déroulé notre stage de fin d'études. Le second chapitre donne un aperçu global sur les différents types de contrôle non destructif appliqués dans le complexe GL1/Z.

Introduction générale

Alors que le troisième chapitre sera dédié aux études de cas qu'on effectués au niveau du complexe, tels-que : Le ressuage; la magnétoscopie et la radiographié; appliqués pour détecter les défauts dans les structures suivantes : Le diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20; l'inspection de la boîte de distribution de l'échangeur E 520 A et la ligne de gaz DR-X0405-904 de l'échangeur E05.26A.

Enfin, nous clôturant notre travail par une conclusion générale dans laquelle on va présenter un récapitulatif des résultats obtenus de cette analyse, avec certaines recommandations.

I.1. Introduction

Le complexe industriel de **GNL - GL1/Z** est, parmi les plus importantes réalisations industrielles de la chaîne de transformation des hydrocarbures, exploitée par la société **SONATRACH** en Algérie. Il a été conçu pour assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel provenant de **Hassi R'Mel** par gazoducs.

La liquéfaction du gaz naturel, est une industrie induite par l'émergence du marché mondial du gaz. Fait partie de cette branche d'activité, l'appareil de production de **GNL** est composé de trois complexes dénommés par condition : **GL1/Z**, **GL2/Z** et **GL4/Z**. Leurs implantations font partie du pôle industriel pétrochimique et gazier de la région industrielle d'Arzew, une des plus importantes concentrations industrielles du pays.

I.2. Présentation du complexe GL1/Z

I.2.1. Un aperçu historique :

Comme toute création industrielle d'envergure, le complexe **GL1/Z** a franchi des étapes qui sont autant d'événements marquants de son histoire récente. A titre d'exemple, on peut citer :

- *Le 16 juin 1973*: le défunt président H. BOUMEDIENE pose la première pierre pour la construction de l'usine.
- *Le 20 février 1978*: la société américaine **BECHTEL** s'en charge pour les travaux de réalisation du projet pour le compte de **SONATRACH**.
- *Cinq années après*: le complexe entre en production et les premières livraisons de **GNL** sont effectuées à destination des Etats Unis.
- *En janvier 1993*: les travaux du projet de rénovation du complexe sont lancés, avec comme objectifs : la fiabilité, la sécurité et l'augmentation à 110% de la capacité de production de l'unité.

I.2.2. Capacités :

Le complexe **GL1/Z** se compose de six trains de liquéfaction identiques, chacun a une capacité de neuf mille mètres cubes de **GNL** par jour; avec une capacité de stockage de trente mille mètres cubes stocké à une température de **-162°C** à la pression atmosphérique.

On trouve une pompe d'expédition du **GNL** sur un quai de chargement, avec deux postes **M1** et **M2** pour des méthaniers allant jusqu'à 125 mille mètres cubes.

Le projet de rénovation a apporté de grandes améliorations sur le plan de la sécurité par l'introduction de l'outil **DCS** (Distributed Control System) de **FOXBORO** qui est un moyen de contrôle performant et aussi sur le plan de production par l'installation de deux grosses chaudières japonaises **IHI** et **MHI** de capacité énergétique égale à 400T/H .

Le complexe **GL1/Z** est divisé en trois zones :

- **Zone Utilités** : C'est la zone motrice de l'usine, elle doit assurer la fourniture de toutes les utilités au reste du complexe qui sont nécessaires au fonctionnement normal des trains de procédés en ce qui concerne :
 - La production d'eau distillée.
 - La production de vapeur.
 - La production d'électricité.
 - La production d'air instrument.
 - La production d'azote.
- **Zone Process** : Le complexe GL1/Z comprend six trains de liquéfaction identiques d'une production en parallèle. Chaque train de liquéfaction est composé de huit sections à savoir :
 - La section de décarbonatation.
 - La section déshydratation.
 - La section de démercurisation.
 - Le pré refroidissement.
 - La section de séparation et tour de lavage.
 - La section de liquéfaction.
 - Le circuit propane.
 - Le circuit de réfrigérant mixte.
- **Zone stockage et expédition** : Les deux quais de chargement peuvent recevoir des méthaniers de 125000m³ avec trois bacs de chargement de GNL chacun de capacité de 10³ m³.

I.2.3. Situation géographique du complexe :

Le complexe GL1/Z est situé au Nord-Ouest du pays à 40 km de la ville d'Oran, à proximité d'un village au bord de la mer méditerranée nommé "Bethioua". Son implantation exacte se trouve entre le complexe voisin GL2/Z à l'Est et le complexe CEA/Z à l'Ouest au bord de l'autoroute de la zone industrielle d'Arzew.



Fig.I.1: Situation géographique du complexe GL1/Z.

I.2.4. Fiche technique :

Ce Tableau représente la fiche technique du complexe GL1/Z.

Tab. I.1: Fiche technique du complexe GL1/Z.

Localisation	commune de Bethioua
Superficie	72 hectares
Objet	traitement de 10.5 milliard m ³ de gaz naturel/an
Produit	Gaz Naturel liquéfié et Gazoline
Nombre de trains	Six trains en parallèle
Constructeur	BECHTEL INC (USA)
Pose de la première pierre	16 juin 1973
Date de mise en production	20 Février 1978

I.2.5. Caractéristiques :

Cet Tableau représente les caractéristiques du complexe GL1/Z.

Tab. I.2: Caractéristique du complexe GL1/Z.

Source d'approvisionnement	Gaz Naturel de Hassi R'Mel
Nombre de train	6
Le complexe GNL1/Z est constitué de 3 zones	Zone des utilités Zone de procédé Zone de stockage et chargement
Capacité de production	17.8 millions m ³ de GNL par ans 196000 t/an de Gazoline
Capacité de stockage	3 bacs avec 100 000 m ³ /bac
Capacité de chargement	10 000 m ³ de GNL
Production d'électricité	3*18 MW (couplé au réseau SONELGAZ)
Production de vapeur	20 chaudières de 136 t/h et 6 de 400 T/h
Clients	Gaz de France (Fran Distrigaz (Belgique & USA). Sonatrading(USA). Panhandal (USA). ENI (Italie).

I.3. Organisation du complexe

Le complexe GL1/Z se divise en deux sous directions, à savoir :

- Sous direction de l'exploitation qui englobe :
 - Département production.
 - Département maintenance.
 - Département des approvisionnements.
- Sous direction du personnel, qui se compose elle aussi de trois départements :
 - Département de ressource humaine.
 - Département des moyens généraux.
 - Département du personnel.

Les départements liés avec les directions dites des structures de contrôle sont :

- Département technique. (T)
- Département finances. (F)
- Département sécurité. (I)
- Département travaux neufs.(W)

I.4. Organigramme de complexe GL1/Z :

Le complexe GL1Z est géré suivant un organigramme bien déterminé de façon à bien maîtrisé les taches. Il est composé d'une direction générale, de deux sous direction et des départements de contrôle, comme le montre l'organigramme suivant :

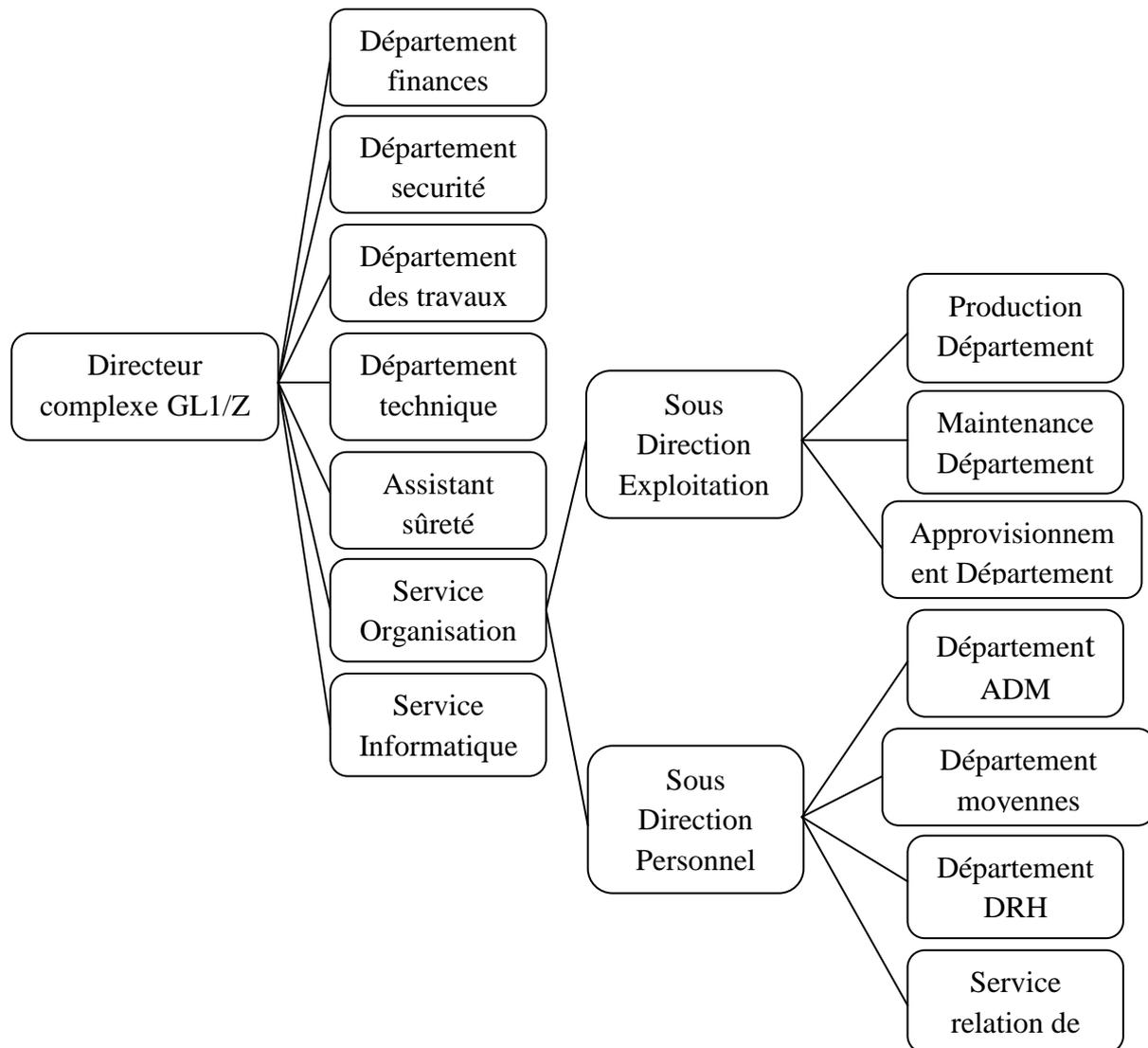


Fig. I.2. Organigramme de la complexe GL1 /Z.

I.5. Description des départements

Le tableau suivant met en évidence la description des départements par code et désignation.

Tab. I.3: Description des départements du complexe GL1/Z.

<i>Code</i>	<i>Désignation</i>		<i>Code</i>	<i>Désignation</i>
<i>I</i>	<i>Sécurité</i>		<i>ADM</i>	<i>Administration</i>
<i>F</i>	<i>Finance</i>		<i>A</i>	<i>Provisioning</i>
<i>T</i>	<i>Technique</i>		<i>G</i>	<i>Maintenance</i>
<i>M</i>	<i>Moyens généraux</i>		<i>P</i>	<i>Production</i>
<i>R</i>	<i>Ressources humaines</i>		<i>R.T</i>	<i>Rapport actif</i>

I.6. Mission du département de maintenance

Le département de maintenance joue un rôle principal accepté avec bonne ou mauvaise volonté. Points saillants observés par la direction; ces activités incluent l’entretien du matériel, et a pour objectif :

- ✓ Maintenir le matériel industriel en bonne condition.
- ✓ Maintenir le matériel en état opérationnel pendant une fraction maximale des temps et réduire les coûts d’entretien et les temps d’interruption.

I.7. Organigramme de département de maintenance :

Le département de maintenance est composé de six (6) service, présentés sur le schéma suivant :

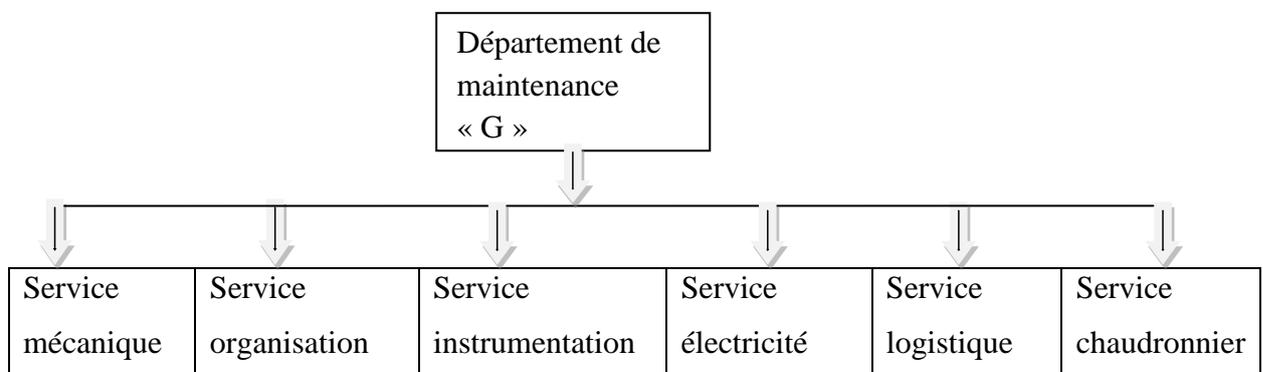


Fig. I.3. Organigramme du département de maintenance.

I.8. Schéma de procédé de liquéfaction :

Ce schéma représente le processus de traitement et liquéfaction du gaz naturel GN.

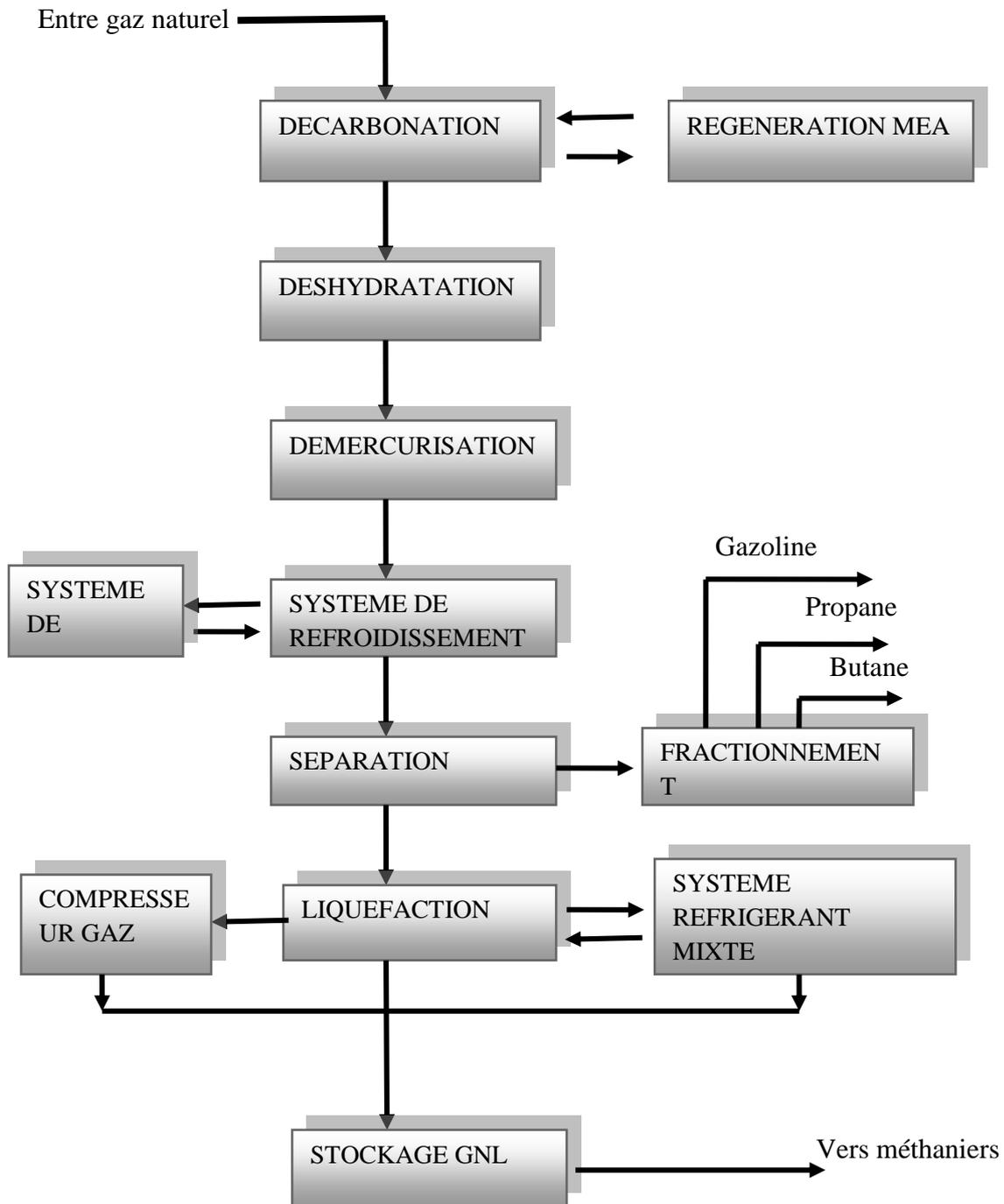


Fig. I.4. Schéma du procédé de liquéfaction.

II.1. Introduction

Le contrôle non destructif est l'ensemble des techniques et procédés aptes à fournir des informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure sans qu'il en résulte des dégradations nocives à leur utilisation ultérieure. Il constitue un secteur spécifique d'activité scientifique et industrielle possédant ses propres structures professionnelles qui regroupent des industriels fabricants et des organismes d'étude et de recherche. Vu l'étendu du champ d'application du CND, de nombreuses techniques ont été développées et étudiées pour l'inspection et la détection des défauts pour différentes applications industrielles.

Le plus souvent, le champ d'application des techniques du CND est limité à certains types de défauts ou de matériaux. Pourtant, dans une même structure, on rencontre des pièces de nature différentes avec des défauts très variés. C'est pourquoi de plus en plus de techniques utilisent conjointement plusieurs méthodes du CND parmi celles qui existent déjà.

Les techniques de CND sont utilisés dans plusieurs domaines dont on peut citer à titre d'exemple : Domaine de la métallurgie (Contrôles des alliages métalliques, radiographie des soudures); la maintenance industrielle; le nucléaires; les industries de fabrication; etc. [1]

Dans ce chapitre, nous présenterons d'une manière sommaire l'importance et l'intérêt du CND ainsi que les différentes techniques de CND appliqué dans le complexe GL1/Z SONATRACH.

II.2. Les techniques de CND utilisé au niveau du GL1/Z

Cette organigramme est cité les différents type de contrôle CND utilisé dans le complexe GL1/Z

Les contrôles non destructifs peuvent se classer en deux catégories :

- Les méthodes dites de surface pour lesquelles l'anomalie est localisée, soit en surface, soit dans une zone proche de la surface (Examen visuel, le ressuage, la magnétoscopie),
- Les méthodes dites volumiques pour lesquelles l'anomalie est localisée dans le volume de la pièce (Ultrasons, radiographie) [2].

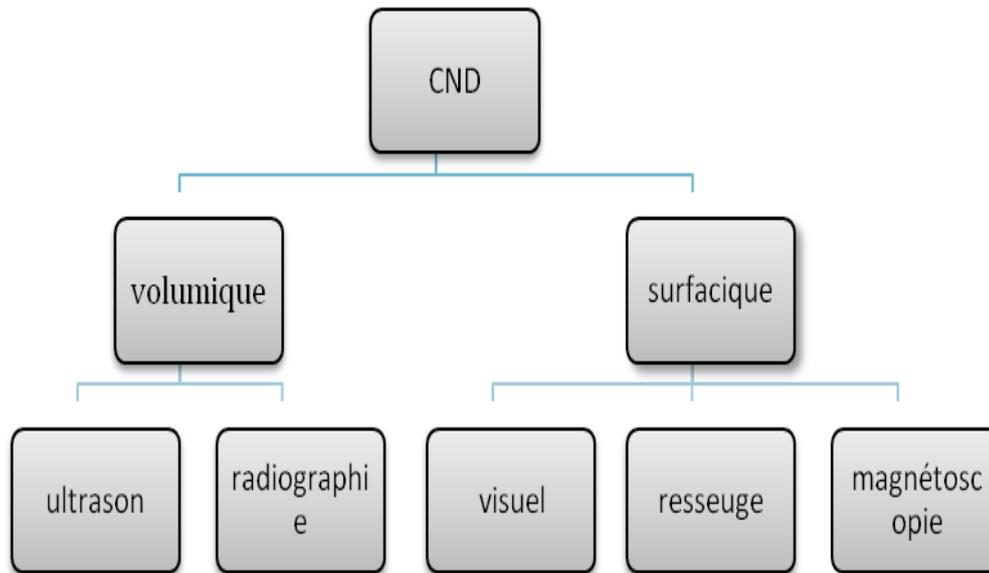


Fig. II.1. Organigramme de différent type des techniques de CND.

II.3. Examen visuel (VT):

II.3.1. Définition :

L'examen visuel est le premier des procédés de contrôle, le plus simple et le plus général puisque c'est aussi le point final de la majorité des autres procédés non destructifs.

En examen préalable, l'inspection visuelle d'un objet, d'une structure, d'un assemblage tel qu'une soudure permettra de guider un observateur expérimenté dans la définition d'une autre technique : Choix de l'angle de tir en radiographie, direction de magnétisation, fréquence ultrasonore.

L'examen visuel direct des pièces peut constituer un contrôle suffisant pour la détection des défauts débouchant en surface et surtout des **hétérogénéités locales et superficielles** (taches de différentes natures) constituant des défauts d'aspect rédhibitoires pour des produits plats du types tôles, tissus, verre, etc. Toutefois l'examen purement visuel présente des limitations de différentes natures que nous allons examiner et qui justifient l'éclosion de toute une gamme de procédés de contrôle optique [3].

II.3.2. Compétences nécessaires :

L'examen visuel permet d'aider le contrôleur à choisir la technique la plus adaptée en CND pour des examens approfondis.

La formation et l'expérience du contrôleur sont très importantes :

- La connaissance des méthodes de fabrication et d'assemblage et leurs possibles défauts : défaut de coulée ou de forge, de cintrage, défaut de soudure...
- La connaissance des contraintes apparaissant en service (corrosion, fatigue, fluage...).
- La connaissance d'autre technique CND pour des contrôles plus profonds en addition du contrôle visuel (détection des défauts cachés dimensionnement).
- La formation doit être adaptée au secteur : aéronautique, centrale thermique et nucléaire, industrie...

II.3.3. Equipements :

l'équipement nécessaire pour la réalisation des observation fiables, est :

- Le boroscope ou fibroscope: Un appareil permettant de voir dans endroits extrêmement petits et difficiles d'accès. Il est constitué de fibres optiques situées dans un câble et permettant de visualiser une image située à l'extrémité de celui-ci



Fig. II.2. Fibroscope flexible.

- L'endoscopie: Est une méthode d'exploration et l'imagerie industrielle (ou médicale) qui permet de visualiser l'intérieur de conduits ou de cavité inaccessible à l'œil. L'endoscope est composé d'un tube optique muni d'un système d'éclairage. Couplé à une caméra vidéo on peut ainsi retransmettre l'image sur un écran [4].



Fig. II.3. Endoscope.

II.3.4. Restrictions :

On site :

- Technique limitée aux surfaces visibles.
- La surface doit être propre.
- Besoin de formation des opérateurs.
- La caractérisation des défauts est limitée.
- Pas d'enregistrement (sauf par vidéo ou photo).

II.4. Essai de Ressuage (PT) :

II.4.1. Définition

Le contrôle par ressuage, est une méthode de contrôle non destructif employée, basée sur inspection visuelle du matériau.

Le ressuage permet de rendre des petits défauts plus (+) visibles pour l'œil possibilité de détecter des défauts de 1à2 μ m d'ouverture et de 1/100 de mm de profondeur

Il est appliqué dans le cas des matériaux non magnétiques (alliages à base d'Al, de Cu, de Ti, aciers inoxydables, etc.). [5].

II.4.2. Méthode d'application

La méthode consiste à appliquer sur la surface à contrôler (préalablement nettoyer et sécher) un liquide d'imprégnation coloré ou fluorescent. Le liquide pénètre, par capillarité dans les ouvertures des défauts (fissures).

Après un certain temps correspondants à la pénétration du liquide d'imprégnation dans les défauts, l'excès du liquide présent à la surface de la pièce est éliminé par lavage. La surface est ensuite recouverte d'un révélateur qui en attirant le liquide d'imprégnation retenus dans les défauts donne une indication renforcée de ceux-ci (par apparition d'une brillance au niveau du défaut ou par coloration du celui-ci)

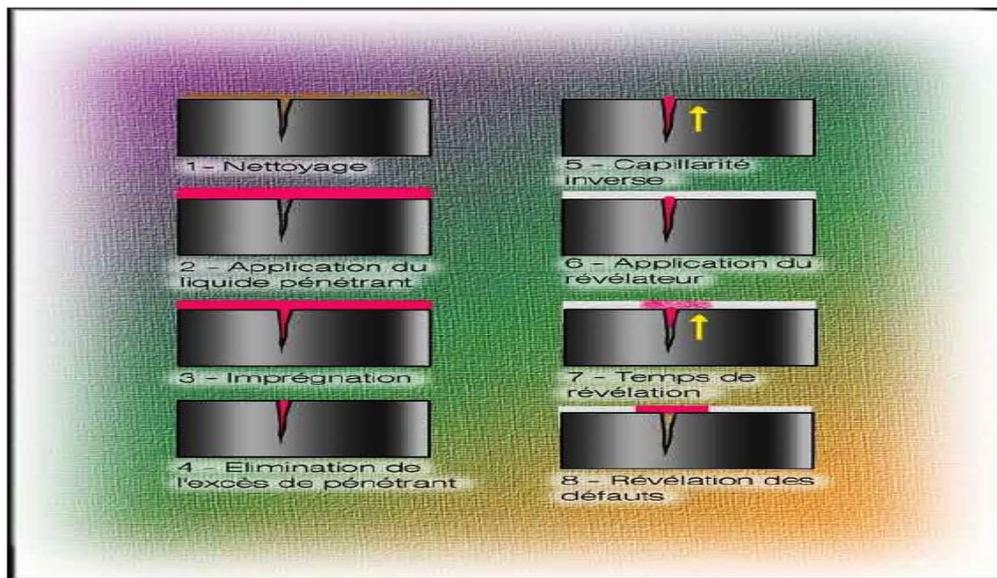


Fig. II.4. Les phases d'application du contrôle par ressuage.

Il faut retenir que, dans tous les cas les opérations sont relativement lentes et prenant chacune plusieurs minutes (3 à 30mn) en ce qui concerne l'imprégnation des fissures par le pénétrant. L'observation est généralement réalisée visuellement. La méthode est applicable sur tous matériaux non poreux. Il existe principalement deux techniques de traçage du pénétrant en ressuage qui sont le traçage coloré et le traçage fluorescent:

- Le traçage coloré implique l'utilisation d'un révélateur à fond blanc sur lequel on observe des empreintes de défauts qui sont généralement de couleur rouge (dans le cas d'un révélateur de couleur rouge);

- Le traçage fluorescent implique un examen fait en lumière noire ou dans l'obscurité, au cours duquel les défauts seront révélés par une fluorescence excitée par un projecteur de rayons ultraviolets.

Cette dernière donne des meilleures performances de détection des défauts que celles obtenues avec l'utilisation des traceurs colorés, au prix toutefois de conditions d'examen optique plus contraignantes.

II.4.3. Limites du ressuage

Il faut retenir que, dans tous les cas, les opérations sont relativement **lentes** et prenant chacune plusieurs minutes (jusqu'à 30 minutes) en ce qui concerne l'imprégnation des fissures par le pénétrant. L'observation est généralement réalisée **visuellement**. La méthode est applicable sur tous les matériaux **non poreux**.

II.4.4. Les produits utilisés en ressuage :

Il existe trois types de produits en ressuage de fonction différente qui sont :

- Les nettoyeurs : Qui permettent de nettoyer les surfaces à contrôler.
- Les pénétrants : Qui peuvent être de deux (2) types : Coloré ou fluorescent.
- Les révélateurs : Qui permettent d'attirer le liquide d'imprégnation retenu dans les défauts.



Fig. II.5. Les produits utilisés en ressuage.

II.4.5. Domaines d'application

On peut localiser les défauts de : moulage, de fatigue, d'usinage, de traitement thermique et soudage. Le ressuage donne des résultats intéressants avec des métaux tels que l'aluminium, le magnésium, le cuivre, le titane, l'acier inoxydable et la plupart des alliages non métalliques.

comme les céramiques, les plastiques, le caoutchouc moulé, (mais il faut, pour les plastiques et les composés caoutchouc moulé, se méfier de leur réactivité vis à vis des produits utilisés et donc procédé à des essais préliminaires):

- Aéronautique.
- Chaudronnerie: cordons de soudures.
- Centrales nucléaires.
- Industries mécaniques: engrenages, arbres, cylindres.
- Industries agro-alimentaires: sucreries.
- Étanchéité: détection de fuites.

II.4.6. Les avantages et les inconvénients :

1/les avantage :

- Facile de mise en application ;
- rapide et sensible ;
- coût d'application faible ;
- ne nécessite pas une grande expérience.
- Tous types des métaux.

2/les inconvénients :

- Impossible de détecter les défauts non débouchant (défauts volumétrique) ;
- nécessite des surfaces propres et bien dégraissées : ne pas travailler sur des produits brutes de laminage;
- cette méthode ne permette de détecter que des défauts présentant un certain volume ; ainsi des fissures refermées par des contraintes de compression peuvent échapper au contrôle par cette méthode ;
- les produits utilisés peuvent êtres toxiques ou polluantes (produits inflammables et souvent volatils), donc il faut prendre des mesures de sécurité.

II.5.Magnétoscopie (MT):

II.5.1.Définition :

La norme NF A09-590 définit la magnétoscopie suit : " L'examen magnétoscopie consiste à soumettre la pièce ou une partie de la pièce à un champ magnétique de valeur définie en

fonction de la pièce. Les discontinuités superficielles provoquent à leur endroit des fuites magnétiques qui sont mise en évidence par des produits indicateurs déposés à la surface de pièce. L'image magnétique obtenue est observée dans des conditions qui dépendent du produit indicateur utilisé."

Le contrôle par magnétoscopie permet la détection de défauts superficiels débouchant ou sous-jacents dans les matériaux ferromagnétiques.

Un matériau est dit ferromagnétique si lorsqu'il est soumis à un champ magnétique de 2400 A/m il présente une induction d'au moins 1 Tesla (NF A 09-125 de Janvier 1982). En effet un champ magnétique élevé ne peut s'obtenir que sur les matériaux ferromagnétiques [5].

II.5.2. Méthode d'application :

La théorie des circuits magnétiques indique que la présence d'un **entrefer** correspond à un fort accroissement local de la **réductance** du circuit et donc de la différence de potentiel magnétique (**D.P.M.**), constituant ainsi un obstacle au **flux magnétique** dont les lignes de force doivent alors s'épanouir latéralement selon un flux de fuite.

Cet effet de dispersion d'un flux magnétique hors d'une pièce ferromagnétique, au droit d'une fissure débouchant ou sous-cutanée (ou toute autre hétérogénéité non ferromagnétique se comportant comme un entrefer), est à la base d'une gamme de procédés magnétiques de détection des défauts de surface dans les aciers dont le plus connu et le plus employé est la **magnétoscopie**.

Ces procédés magnétiques diffèrent entre eux principalement par le mode de mise en évidence du flux de fuite magnétique correspondant à la dispersion de flux décrite ci-dessus.

En magnétoscopie, on observe visuellement une accumulation de poudre de fer ou de magnétite colorée provoquée par le flux de fuite. Ensuite, on recueille la trace magnétique du flux de fuite sur un film, une bande ou une pâte d'empreinte magnétisable; les autres procédés sont regroupés sous le vocable détecteur à flux de fuite (magnetic leakage flux testing). Il s'agit généralement d'appareils de contrôle automatique de barres et de tubes d'acier mettant en œuvre des détecteurs ponctuels de flux électromagnétiques.

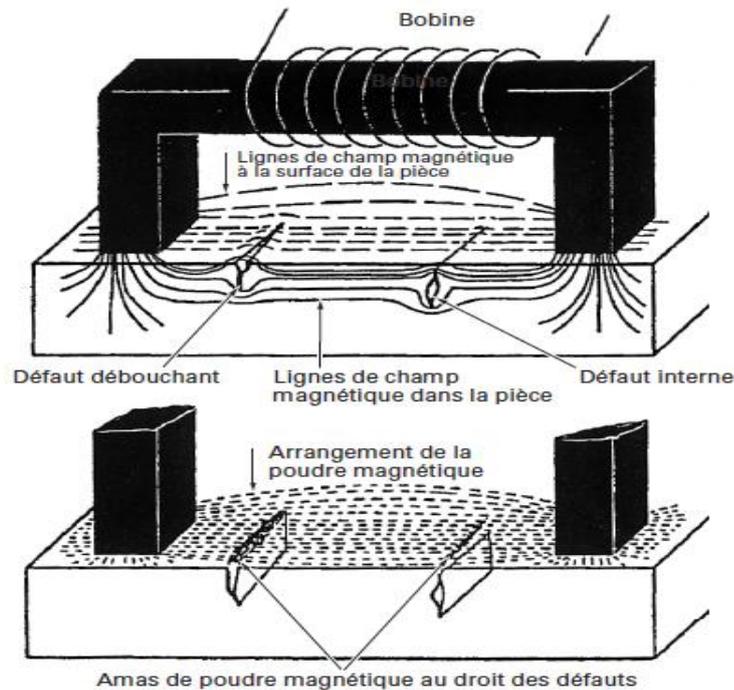


Fig. II.6. Contrôle par magnétoscopie [5].

II.5.3. Domaine d'application :

La magnétoscopie est ainsi une méthode largement utilisée dans les domaines du CND et plus particulièrement dans les secteurs tels que :

- Le transport (aéronautique, automobile, ferroviaire, remontées mécaniques);
- l'énergie (pétrole, thermique, hydraulique, nucléaire);
- chaudronnerie;
- métallurgie (fonderie, forge); mécanique;
- agroalimentaire; cimenterie;

Tant en fabrication qu'en maintenance. Elle permet de contrôler des pièces en alliages ferreux; forgés, soudés, des tôles, des tubes, ..., bref toutes sortes de pièce de géométrie simple ou complexe, pourvue que le matériau qui les constitue soit de nature ferromagnétique.

La méthode est complémentaire de celle des ultrasons ou des courants de Foucault (méthodes à voir ultérieurement). Là où les ultrasons détectent les défauts situés à une certaine profondeur, la magnétoscopie met en évidence tous les défauts débouchant (jusqu'à quelque micromètre de largeur), et certains défauts sous-jacents peu profonds.

Contrairement au courant de Foucault, elle ne craint pas les effets d'extrémités. La magnétoscopie fait partie en effet des méthodes dites globale (qui inspecte l'ensemble d'une pièce en une seule opération). [6]

II.5.4. Les Avantages et les Inconvénients :

1/ Les Avantages :

- Méthode globale;
- simple;
- rapide (plus rapide que le contrôle par ressuage);
- facilité de détection des défauts débouchant et sous-jacents (2mm environs), les défauts peuvent être matés ou obstrués;
- très bonne sensibilité de détection des défauts plans (créant une grande discontinuité du champ);
- matériels robuste pouvant être utilisé dans des environnements difficiles.

2/ Les Inconvénients :

- Détection moyenne des défauts non linéaire;
- pas de trace du contrôle;
- risque de bruit de fond parasite si le cordon présente trop d'irrégularités de surface;
- impossible de détecter des défauts en profondeur (> 2 mm de profondeur);
- démagnétisation obligatoire après contrôle;
- examen exclusivement applicable aux matériaux ferromagnétiques;
- méthode non entièrement automatisable;
- nécessite l'emploi de produit chimique.

II.6. Contrôle par Ultrasons (UT) :

II.6.1. Définition :

Le contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle non destructif permettant la détection de défaut à l'intérieur d'un matériau. Il est basé sur la transmission et la réflexion d'onde de type ultrasons à l'intérieur d'un matériau. Les ondes utilisées peuvent être libres (de compression ou de cisaillement) ou guidées (de surface ou de plaque) [7].

II.6.2. Principe de mesure :

Une onde ultrasonore est émise par un transducteur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans le matériau. Il existe des méthodes par contact (le palpeur est en contact avec la pièce) ou par immersion (la pièce et le palpeur sont immergés dans de l'eau). Dans le cas de la méthode par contact, il est nécessaire d'ajouter un couplant (eau ou gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Lorsque ces ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, il y a réflexion. Les ultrasons réfléchis sont captés par un palpeur (qui peut être le même que l'émetteur). Il y a création d'un « écho ».

Dans le cas d'une pièce comportant deux surfaces, la détection de défaut se fait en comparant le temps mis pour faire un aller retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut.

D'un point de vue pratique, on utilise un écran d'oscilloscope. Les échos sont représentés par des pics sur l'écran.

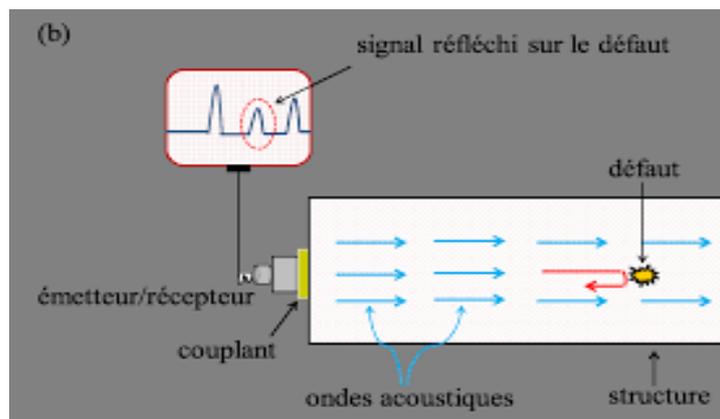


Fig. II.7. Schéma de principe du CND par ultrasons.

II.6.3. Domaine d'Application :

Le contrôle par ultrasons est applicable à de nombreux matériaux pourvu qu'ils ne présentent ni une trop forte atténuation ni une anisotropie importante. Les matériaux métalliques, thermoplastiques, composites, céramiques peuvent être contrôlés par ce procédé. Les ultrasons permettent la détection de tous défauts engendrant une variation locale des propriétés ultrasonores de la pièce.

Le contrôle ultrasonore est aussi utilisé pour le contrôle:

1. Des pièces moulées

- ✓ Vermiculures;
- ✓ variations locales de structure;
- ✓ ségrégations;
- ✓ porosités...

2. Des pièces forgées

- ✓ Criques;
- ✓ repli de forge.

L'orientation du faisceau ultrasonore doit prendre en compte le fibrage de la pièce.

3. Des produits laminés et étirés

- ✓ Dédoublers;
- ✓ Ségrégations;
- ✓ Repliures.

4. En service : Les défauts apparaissant en service tels que fissures ou corrosions peuvent être détectés par ultrasons. Cependant, les fissures de fatigue peuvent ne pas être décelées si elles sont trop resserrées; ainsi que, les fissures de corrosion sous tension en raison des produits qu'elles contiennent.

5. Des soudures avant et après traitement thermique : Le contrôle par ultrasons peut être appliqué avec profit aux soudures réalisées sur les aciers non alliés et faiblement alliés de nuance ferritique ainsi que sur les alliages légers.

6. Le contrôle des soudures sur aciers austénitiques est réalisable, mais nécessite la mise au point d'une procédure particulière :

- ✓ **Avant soudage :** Il est nécessaire d'effectuer, dans le cas des tôles et des produits forgés, un contrôle par ultrasons pour détecter des défauts pouvant gêner le contrôle après soudage (délaminage, ségrégation, anisotropie, criques, repli de forges dans le cas des produits forgés).
- ✓ **Pendant soudage :** Le contrôle ultrasonore peut être effectué mais, est délicat du point de vue de sa mise en œuvre, puisque le remplissage partiel de la soudure peut gêner le contrôle.
- ✓ **Après soudage :** Le contrôle ultrasonore est bien adapté pour le contrôle des épaisseurs soudées comprises entre 8 et 100mm; mais, il est adaptable en dehors de cette fourchette.

Grâce aux techniques d'examen mises en œuvre, tous les types de soudure peuvent être examinées (bout à bout, d'angle et à recouvrement) [8].

II.6.4. Appareil à Ultrasons :

Dans le complexe GL1/Z, est utilisée la prise d'épaisseur Pocket U2, dédiée à la mesure d'épaisseur. Portatif et léger, le Pocket U2 dispose de réels atouts techniques : affichage couleur haute résolution des formes d'ondes (A-Scan), affichages graphiques réglables, capacité de stockage jusqu'à 50 000 mesures d'épaisseur, différents modes d'alarme (sonore, lumineux, vibreur) ...



Fig. II.8. Prise d'épaisseur par un appareil de CND : Ultrasons.

II.6.5. Les avantages et les inconvénients :

1. Les avantages :

- Contrôle possible de compacité de la totalité d'un volume donné ;
- positionnement des indications détectées dans l'épaisseur ;
- haute sensibilité de détection des défauts, notamment pour la recherche des défauts plans;
- localisation et dimensionnement des défauts;
- examen à partir d'une seule face souvent suffisant;
- détection instantanée, se prête bien à l'automatisation;
- transportabilité et mobilité.

2. Inconvénients :

- Pour les contrôles "manuels" une grande expérience des opérateurs est nécessaire;
- méthode impliquant un très haut niveau de technicité;

- sensible à la géométrie (formes, rugosité, zones mortes);
- nécessite absolument l'utilisation de blocs de référence difficiles à fabriquer;
- sensible à la nature et à l'orientation des défauts;
- technique souvent très coûteuse (investissement, temps de contrôle).

II.7. Contrôle par la Radiographie (RT) :

II.7.1. Définition :

La radiographie est une méthode du CND permettant de détecter des défauts débouchant ou **interne** sur tous types de matériaux contrôlables. Cette méthode utilise les particularités des **rayons ionisant X et gamma** qui sont des ondes électromagnétiques de très faible longueur d'onde. Ce contrôle peut s'appliquer à de très nombreux types de matériaux pour mettre en évidence et dimensionner des hétérogénéités, telles-que : Les porosités; les soufflures, les amas d'inclusions; les criques; les fissures; manques de pénétration en soudure;... [9].

II.7.2. Sécurité radio :

Les radiographies sont faites soit dans des blocs de contrôle radio, ou les murs sont épais et blindés de plaques de plomb. Soit dans des coffres à parois épaisses en plomb, si la radiographie doit être faite sur chantier. Les personnes aux alentours doivent se retirer pendant la réalisation de la radio. Les opérateurs sont soumis régulièrement a un examen biologique du sang.

II.7.3. Principe de contrôle par radiographie :

Le contrôle par radiographie consiste à faire traverser le matériau par un rayonnement ionisant (rayon X ou γ) et à recueillir le signal atténué sur un récepteur (films photographique ou capteur électronique) qui convertit ce rayonnement en une image visible d'où ces images seront interpréter par un expert du domaine pour la détection des défauts.

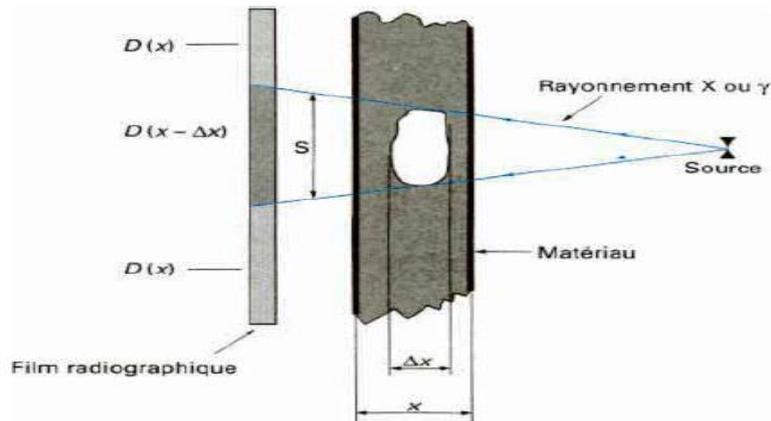


Fig. II.9. Impression sur le film radiographique de l'image du défaut.

Le contrôle par radiographie nécessite un choix approprié du matériel, de la procédure et des conditions d'examen.

II.7.4. Mise en œuvre de la radiographie par rayons X ou γ :

Il s'agit de choisir le matériel, la procédure et les conditions de mise en œuvre de façon à obtenir une bonne fiabilité du contrôle, c'est-à-dire, en fait une **image nette et contrastée** mettant bien en évidence pour les défauts recherchés. Cela suppose de prendre en compte un certain nombre de conditions telle que :

- a) **Le rayonnement :** Et donc **la source**, et son réglage. Dans le cas d'une source à **rayon X** : c'est un tube en verre ou en céramique sous vide poussé, comportant une cathode émettrice d'électrons et une anticathode encastrée dans une anode refroidie et inclinée, portée à un potentiel élevé.

La source doit être choisi juste assez dure pour traverser la pièce sans dégrader le contraste lié au rayonnement diffusé.

- b) **La prise de vue :** Doit être définie en terme de conditions géométriques, position et orientation relative de la source, de l'objet et du film conduisant à un compromis satisfaisant entre flou géométrique, grandissement des défauts, rayonnement diffusé, éloignement donc **débit de dose** et **durée d'exposition de film**.

- c) **Le choix du film :** Résulte aussi de compromis entre **rapidité** et **résolution**, au regard du type de défaut recherché et aux conditions de prise de vue.

- d) **La détermination du temps de pose :** Se fait en pratique à l'aide d'**abaques** prenant en compte les paramètres de la source et les conditions de prise de vue.

- e) **L'exploitation des clichés** : Se fait, après **développement**, **fixage** et **lavage**, par un examen du film par transparence sur des boîtes à **lumières normalisées**, ce qui exige des appareils particuliers pour l'examen des clichés à haute densité optique.
- f) **Le contrôle de la qualité des radiographies** : C'est indispensable pour pouvoir tirer des 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. Différents moyens peuvent être utilisés : Outre la référence à un cliché pris sur une pièce identique avec défauts naturels ou artificiels connus, on utilise très couramment la technique des **IQI** (indicateurs de qualité d'image) [10].
- g) **La numérisation des radiographies** : Permet d'accéder à du **traitement d'image** par ordinateur en vue d'accroître les performances de l'examen au regard des résultats obtenus par contrôle visuel des **radiogrammes**.

II.7.5. Radiographie et contrôle des soudures :

Le principe général élucidé précédemment s'applique pour le contrôle des joints de soudure. Le contrôle est basé sur l'absorption différentielle du rayonnement X ou gamma. Les différences de rayonnement qui émergent de la pièce engendreront sur le film une image latente qui sera ensuite révélée par voie chimique ou depuis peu par voie numérique.

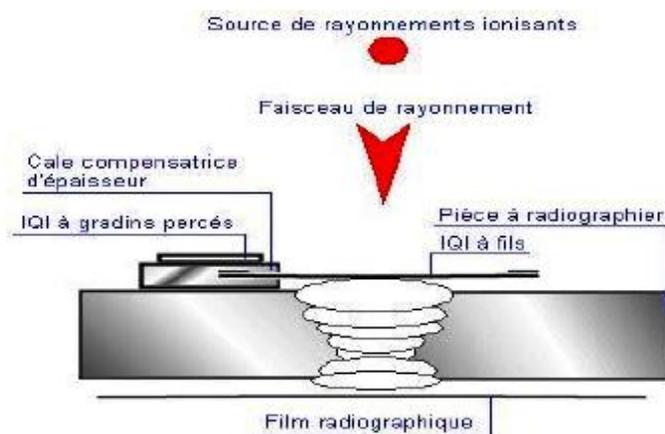


Fig. III.10: Principe de la radiographie des soudures.

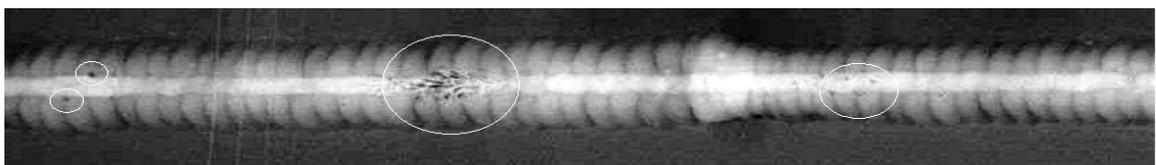


Fig.III.11: Radioscopie sur écran amorphe.
Acier au carbone, épaisseur du joint 12 mm (avec RX 150 kV).

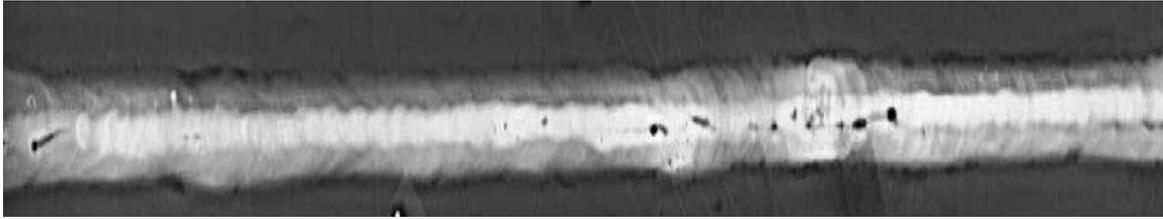


Fig. III.12: Radio numérique sur plaques phosphorées.
Acier au carbone, épaisseur du joint 4 mm (avec RX 100 kV).

Le film radiographique classique est remplacé par un écran photo stimulable qui après exposition permet d'obtenir une image numérique en temps réel.

Le principe de cet écran repose sur la propriété de certains phosphores à capturer une image latente lors de leur exposition à un flux de photons X ou gamma. Cette image latente est formée par les électrons piégés à un niveau d'énergie supérieur lors de l'interaction des cristaux de phosphore avec les photons incidents sur l'écran.

L'écran est ensuite lu au moyen d'un balayage par un faisceau laser à haute résolution qui stimule les électrons piégés. C'est la photo stimulation. Elle entraîne une luminance située dans le spectre visible.

Cette lumière est ensuite mesurée à l'aide d'un photomultiplicateur, numérisée et ensuite stockée dans la mémoire de l'ordinateur en fonction de la position du faisceau laser sur l'écran. L'écran peut ensuite être effacé par une source de lumière blanche interne qui provoque le retour à l'état initial de tous les électrons piégés.

Le nombre de photons lumineux mesurés est proportionnel au nombre d'électrons piégés qui est proportionnel au nombre de photons X ou gamma qui ont interagi avec l'écran. Ceci permet de révéler sous la forme d'une image numérique la dose réelle reçue sur l'écran [11].

II.7.6. Domaine d'application

Le contrôle radiographique par rayon X ou gamma s'applique à toute sorte de matériaux de nature différente (papier, matière plastique, matériaux métalliques). Les paramètres qui influent sur la probabilité de détection des discontinuités dans la matière sont principalement :

- l'épaisseur et la forme des matériaux radiographiés
- la nature de ce matériau
- la forme et la nature des discontinuités affectant le matériau
- la position de ces défauts dans l'épaisseur contrôlée.

- La nature de la source de rayonnement et le type du film utilisé. Lorsqu'un défaut est mis en évidence par radiographie, il est possible d'en déterminer la nature ainsi que la dimension apparente sur le film. En revanche, l'appréciation de la profondeur du défaut constitue une opération longue et délicate [5].

II.7.7. Les Avantages et les inconvénients :

1/ Les Avantages :

- Examen possible en temps réel (radioscopie)
- Pas de zone morte sous la surface
- Conservation possible des radiogrammes plusieurs dizaines d'années
- Transportabilité (générateurs de rayons x de faibles énergies, appareils de radiographie gamma portatifs d'environ 20 kg : possibilité de radiographier jusqu'à 80 mm d'épaisseur d'acier avec l'iridium 192)

2/ les Inconvénients :

- La sensibilité de détection des défauts dépend des dimensions de la source et de son énergie, de la position et de l'épaisseur de la pièce, de la sensibilité du film... ;
- difficulté de localiser les défauts en profondeur;
- coûts de fonctionnement élevés;
- l'interprétation des radiogrammes est souvent délicate et nécessite une formation des opérateurs de niveau élevé ainsi qu'une grande expérience;
- les rayonnements utilisés sont dangereux et peuvent provoquer des maladies professionnelles graves;
- les opérateurs doivent pouvoir manipuler les différentes sources;
- les opérateurs sont classés travailleurs de catégorie A et portent un dosimètre individuel;
- la réglementation est souvent très contraignante ;

III.1. Introduction

Les dispositifs de contrôle non destructifs sont multiples et variés; et chacun d'eux présente des avantages et des limites comme énuméré dans le chapitre précédent. Sachant que les entreprises ne sont pas dans les mêmes situations (besoins, environnement, ...); le choix d'un dispositif de contrôle doit faire l'objet d'une étude de faisabilité. Le choix d'un dispositif passe nécessairement par l'adoption de quelques critères propres à l'entreprise.

Ce chapitre sera consacré à l'application de certaines techniques de contrôle non destructifs comme : le ressuage, la magnétoscopie et la radiographie pour détecter les défauts des pièces suivantes: le diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20, l'inspection de la boîte de distribution de l'échangeur E 520 A et la ligne de gaz DR-X0405-904 de l'échangeur E05.26A, par ordre.

III.2. Etude de cas1 : Détection de défaut de diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20 par ressuage.

III.2.1. Diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20

Les diaphragmes constituent le profilage fluo dynamique de la partie fixe du compresseur. Ils sont divisés en quatre types : d'aspiration, intermédiaires, entre étages et de refoulement.

- **Le diaphragme d'aspiration** : à la tâche d'acheminer le gaz à l'entrée de la première roue; au cas où le réglage de débit du compresseur serait effectué moyennant des aubes variables, qui sont commandées de l'extérieur. Ce réglage est obtenu en modifiant l'angle d'arrivée du gaz à la roue.
- **Les diaphragmes intermédiaires** : ont la double tâche de former le diffuseur où a lieu la transformation de l'énergie cinétique en énergie de pression et le canal de retour pour diriger le gaz à l'entrée de la roue successive. Les diffuseurs peuvent être de type à vortex libre ou à aubes, ces dernières, améliorent le rendement de la transformation, et réduisent l'élasticité de la machine.
- **Le diaphragme de refoulement** forme le diffuseur de la dernière roue et la volute de refoulement.

- Les diaphragmes entre étages séparent les refoulements des deux étages dans les compresseurs à roues opposées [12].



Fig.III.1. Diaphragme de compresseur MCR 1 405-K-01.20.

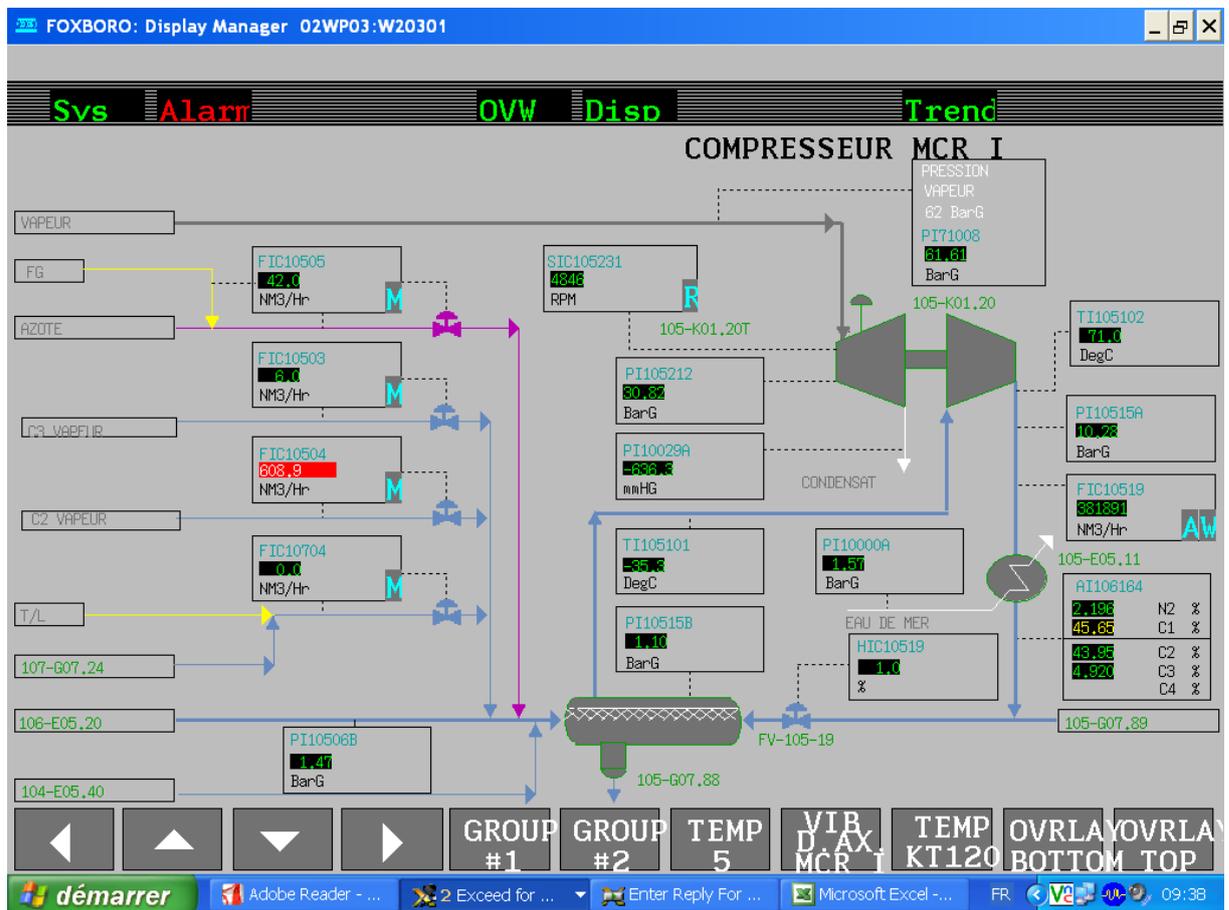


Fig.III.2. Diagramme schématique de compresseur MCR1.

III.2.2. les critères du choix de technique de ressuage :

Pour faire un choix, il est indispensable de disposer de quelques critères d'appréciations concernant les solutions trouvées :

a) Défauts décelables :

- Défauts de surface invisibles à l'œil (fissures débouchantes).
- Défauts débouchant sensibilité : 80µm/200µm (pénétrant coloré) et 1µm/30µm (Pénétrant fluorescent).

b) les avantages :

- Simple d'emploi.
- Peu couteux
- Pour des matériaux compacts.

c) les limites :

- Défauts de surface.
- Interprétation délicate.
- Non utilisable sur matériaux poreux.

III.2.3. Méthode d'application :***a) Préparation de la surface :***

Nous avons bien nettoyé la surface du diaphragme. Elle doit être propre

b) Phase d'imprégnation :

Nous avons appliqué la pénétrant sur tous la surface de diaphragme par pulvérisation environ 15min et attendons qu'il ait pénétré dans les fissures ou les piqûres.

c) Phase de pénétration :

L'interaction du pénétrant (colore rouge) avec le diaphragme par l'adsorption.

d) Phase de nettoyage :

Nous avons Nettoyée la pièce par la rinçage à l'eau pour d'enlever l'excédent de pénétrant et éliminer toute les traces de liquide pénétrant sur la surface à contrôlé. Une partie de pénétrant resté bloqué à l'intérieur de défaut.

e) Application du révélateur :

Nous avons appliqué la révélateur à colore blanche après le nettoyage sur la surface parfaitement sèches. Ce révélateur va absorbée la pénétrant.

f) Observation du résultat :

Nous avons remarqué une partie du pénétrant qui se trouve à l'intérieur du défaut ressue.une coloration est visible à l'endroit du défaut, ce qui en révèle la présence. Les défauts débouchant seront mis en évidence.

III.2.4. Présentation des résultats :

Dans le complexe GL1/Z, il ya appliqué le contrôle par ressue du diaphragme du compresseur MCR 1 405-K-01.20 sous la référence PS865001-B. Le contrôle CND par ressue a mis en évidence la présence d'une fissure linéaire d'environ de 70mm au niveau de ce diaphragme du côté aspiration du compresseur MCR1. Cette fissure est inacceptable et non tolérée par les codes et les normes.

Suite à cela, nous recommandons de pour suivre le meulage jusqu'à l'élimination de cette fissure, puis procéder au rechargement par soudage de cette zone afin de remis en état de la forme du diaphragme.

PJ : Voir photo ci-jointe



Fig. III.3. Photo de la fissure avant meulage.



Fig.III.4. Photo de la fissure après le meulage.

III.2.5. Analyse de résultats :

A travers aux résultants obtenus, nous avons constaté que cette technique se caractérise par ce contrôle est essentiel pour nos matériaux et nous offre de nombreux avantage:

- Destiner les défauts rapictile par des produits la lumière et observation visuel sans toucher la pièce.
- Méthode de contrôle simple, mais nécessitant une bonne expertise visuelle.
- La méthode peut être réalisée partout: elle ne doit donc pas nécessairement être effectuée en laboratoire ou en atelier.
- Cette technique est applicable à tous les matériaux non poreux.
- Ne nécessite pas d'équipements important.
- Permet de détecter des fissures de seulement 1 micron.
- Propre et ne peut présenter qu'une faible rugosité.

C'est pourquoi il convient de vérifier si elles ne sont pas colmatées par des saletés, des corps étrangers ou des chevauchements de matériaux. La méthode est applicable pour les discontinuités ouvertes.

La méthode est appliquée sans problème sur des pièces à une température comprise entre 5 et 50°C. Toutefois, certains produits permettent d'être appliqués à des températures plus élevées (jusqu'à 200°C).

III.3. Etude de cas 2 : Détection des défauts de la boîte de distribution de l'échangeur principal E520 par la magnétoscopie.

III.3.1. Echangeur principale E520 :

La liquéfaction de gaz naturel traité (GNT) est assurée par l'échangeur principal en utilisant du MRC (Multi – Composant – Réfrigérant). L'échangeur principal, de type bobines à serpentins enroulés, comprend six faisceaux qui accueillent le MCR liquide et le GNT (deux faisceaux pour chaque fluide).

Le gaz d'alimentation de l'échangeur cryogénique, venant du séparateur de la tour de lavage, est rejoint par un flux réinjection de propane et de butane venant du fractionnement. Ce courant traverse un serpentin de faisceaux situé au fond de l'échangeur.

L'effluent MRC liquide traverse la partie chaude de l'échangeur, pour être détendu à 40bars et -110°C ; à ce niveau, le GNT est refroidi jusqu'à -120°C tandis que l'effluent MRC vapeur se condense dans la partie chaude et arrivé à la limite de la partie froide pour subir une détente jusqu'à -158°C, le liquide obtenu après chaque détente est distribué sous forme de douche pour l'auto refroidissement d u MRC et le refroidissement du GNT.

A la limite de la partie froide de l'échangeur cryogénique, le GNT quitte ce dernier à -148°C sous forme liquide (GNL) sous pression de 28.3 bars ou il subit une détente isenthalpique (Joule Thomson) dans la vanne (TV.612) à température régulée jusqu'à 1.5 bars et -158°C. Après une seconde détente, dans le ballon flash (désazoter G.783), le liquide est envoyé vers la conduite d'alimentation des bocs de stockage par deux pompes J.1020 et J1030 à une température de -160°C.

III.3.2. Les critères de choix de technique de magnétoscopie

Pour faire un choix, il est indispensable de disposer de quelques critères d'appréciations concernant les solutions trouvées :

a) *Défauts décelables :*

- défauts de surface (fissures, manque de pénétration,...).
- défauts débouchant et sous-cutanés.

b) *Les avantages :*

- méthode sensible et simple.
- peu couteux.

c) *Les limites :*

- interprétation délicate.
- contrôle unitaire.
- désaimantation des pièces après contrôle.
- utilisable que sur matériaux ferromagnétique.

III.3.3. Méthode d'application :

Le contrôle par magnétoscopie est très efficace pour la détection des défauts débouchant ou situé près de la surface. Il n'est utilisé que sur des matériaux magnétique [13].

Avant l'application du produit de contrôle, nous avons nettoyé bien la surface à contrôlé par un produit spécial de contrôle,

Après nettoyage et séchage la pièce est aimantée, localement suivant son volume et le type de matériel de contrôle utilisé. En applique le révélateur coloré de colore blanche sur la surface de la boite contrôlée, nous avons déposé une poudre magnétique sur la surface contrôlée,

Nous avons appliquée d'un électro aimant on crée un champ magnétique sur la pièce il se forme un flux qui est perturbé au niveau des défauts. La pièce est alors soustraite l'influence de l'aimantation et on procède alors à son Examen.

III.3.4. Présentation des résultats :

1/Description des anomalies : Le Contrôle par Magnétoscopie MT des soudures de la boîte de distribution de l'échangeur E-520 A en question a révélé les indications suivantes : Des indications linéaires au niveau de la soudure de la tubulure A Ø18'' par l'intérieur. Ces indications sont illustrées en fig.III.7



Fig.III.7. Photo de fissure après le contrôle magnétoscopie

2/Procédure de réparations : L'indication décrite ci-dessus doit faire objet de réparation par soudage. Afin de respecter les bonnes pratiques du code d'inspection appliqué API 510, il faut donc fournir ce qui suit :

- DMOS (Descriptif Mode Opérateur de soudage)
- QMOS (Qualification Mode Opérateur de soudage)
- QS (Qualification soudeurs)
- Certificat Métal d'apport

Ces documents doivent être valables et adéquats pour le remède des indications sus-listées. Il est obligatoire que la fourniture de ces documents soit avant l'exécution des travaux de réparations. Ces documents doivent être révisés par un inspecteur API 510.

Sur le plan pratique, Chaque indication doit être traitée en respectant les points suivants :

- Chanfreiner, Meuler tout le joint de soudure entre virole et piquage A jusqu'à une profondeur où l'indication n'est plus visible suite au contrôle par Magnétoscopie ou Ressuage.
- Rechargement par soudure en utilisant un procédé adéquat.
- Contrôle par MT après la réparation par soudure avant traitement thermique.
- Traitement thermique de la soudure.

III.3.5. Analyse des résultats :

Nous avons appliquée le magnétoscopie sur la boîte de distribution de l'échangeur pour détecté des défauts de surface débouchant et sous-jacent, après l'examen obtenus des résultats nous avons constaté que cette technique se caractérise par :

- méthode plus rapide par rapport le ressuage;
- facilité de détection des défauts débouchant et sous-jacents (2mm environs), les défauts peuvent être matés ou obstrués;
- facilité de lecture de défaut et la fiabilité de l'analyse;
- Utilisable que sur les matériaux ferromagnétiques
- Sensibilité fonction de l'orientation du défaut par rapport à la direction générale des lignes d'induction.
- Nécessité de désaimantation des pièces après contrôle.

III.4.Etude de cas 3 : Détection des défauts des lignes de gaz DR-X0405-904 de l'échangeur E05.26 A par radiographie.

III.4.1. La ligne de gaz DR-X0405-904 :

- 1) **Définition** : Ligne de gaz est une canalisation formée par un ensemble de tube en acier soudée bout à bout, destinée à l'acheminement d'un endroit à un autre de matières gazeuses ou liquides, ces lignes sont souvent revêtus extérieurement et voir même intérieurement, et presque toujours enterrées sauf dans certaines régions [14].



Fig.III.8. Les ligne de gaz.

Les lignes sont utilisées pour les réseaux de distribution de gaz naturel. Elles sont ensuite enveloppées d'une couche protectrice avant d'être enterré. Tous les lignes,

sans exception, font l'objet d'une inspection en plus d'être soumis à une épreuve de pression avant leur utilisation.

- 2) **Les caractéristique des lignes** : Ces caractéristiques principales (diamètres, épaisseur, type d'acier, spécification de construction, température et pression d'exploitation...) sont régies par tout un ensemble de règles et font l'objet de multiples calculs et de compromis économique.

Le diamètre d'une canalisation est déterminé en fonction du débit des produits à acheminer, de leur densité, de façon à réaliser un compromis économique entre la puissance des stations de pompage ou de compression à installer et l'importance de l'investissement total à réaliser [15].

Lorsque les considérations technico-économiques ont ainsi permis de fixer le diamètre, et d'ailleurs également la pression de service, on calcule l'épaisseur en fonction de cette pression de service ou des conditions de pose, lesquelles parfois posent des caractéristiques dimensionnelles plus sévères.

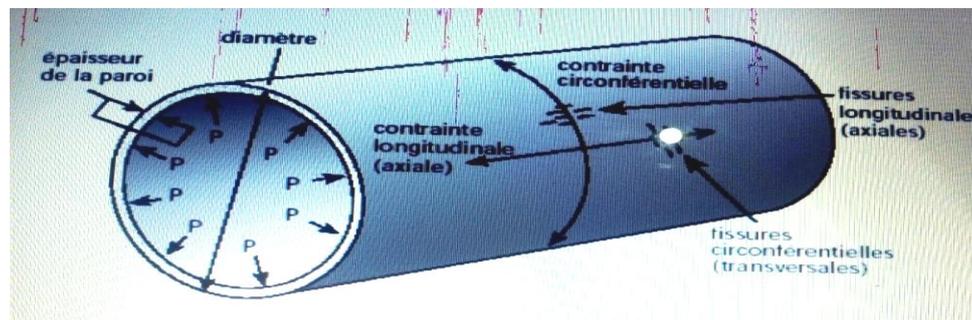


Fig.III.9. Caractéristiques des lignes.

III.4.2. Les critères de choix de technique radiographie :

Le choix d'une technique passe nécessairement par l'adoption de quelques critères propres à la pièce :

a) Défauts décelable :

- défauts volumiques (porosité, inclusions, manque de pénétration,...).
- défauts internes.

b) Les avantages :

- détection de défauts internes.

- Résultats archivables.
- Contrôle unitaire.

c) Les limites :

- Matériel couteux.
- Opérateur qualifié.
- Sensibilité fonction de l'orientation du défaut.

III.4.3. Méthode d'application

Après percement d'une ligne de gaz de diamètre 3'' de l'échangeur E05.26A au niveau du train 400 une équipe a été mobilisé pour le remplacement de ce dernier inclue que la réglementation interne de GL1/Z prévoit la radiographie des joints de soudure de 3'' à cet effet le responsable de cette action qui est de la maintenance adresse un message de ca boite Email professionnel pour le service préparation (GP) de la maintenances et le service technique (TI), pour le service préparation c'est lui qui contacte GTP pour la réalisation de la radiographie suivant la disponibilité de l'équipe de GTP et l'urgence pour la mise en service du train de production et le service TI sa tâche est de localiser les joint de soudure avec GTP et établir de permis de travail permutons a GTP d'effectuer la radiographie pour le résultat de ce dernier sera communiqué par GTP au service TI.

1/Le message envoyé par le complexe GL1/Z :

Cet Tableau est représente le message envoyé par le complexe GL1/Z au le GTP.

Tab. III.1. Résultats de l'analyse.

FW	N° de ligne	EQP	∅	RT1		RT2		RT3	Atelier TRAINS
02	BT-X1014-903	F- 7.51	3''	INSTRT	Réparer				T400
03	BT-X1014-903	F- 7.51	3''	INSTRT	Réparer				T400
01	D-X0411-1912	E-05.24	2''	INSTRT					T400
02	D-X0411-1912	E-05.24	2''	INSTRT					T400
03	D-X0411-1912	E-05.24	2''	INSTRT					T400
04	D-X0411-1912	E-05.24	2''	INSTRT					T400
01	PTR-X0408-904	E-07.13	4''	INSTRT					T400

03	PTR-X0408-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier
04	PTR-X0408-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier
05	PTR-X0408-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier
01	DR-X0405-904	E-05.26A	3''	INSTRT					Atelier
02	DR-X0405-904	E-05.26A	3''	INSTRT					Atelier
01	PTR-X0409-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier
02	PTR-X0409-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier
03	PTR-X0409-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier
04	PTR-X0409-904	E-07.13	4''	INSTRT					Atelier

Nous disposons actuellement de trois chambres de radiographie installées en parallèle. Les lignes sont amenées par trains de rouleaux. Chaque chambre est équipée d'appareils émetteurs RX de 300KV, 3mA à tir verticale de haut en bas. La génératrice soudée des lignes est placée au point le plus haut. La radiographie obligatoire des zone soudées et réparées et celle des zones signalées au contrôle ultrasons est effectuée sur des films spéciaux placés dans des cassettes plastiques qui sont fixées à l'intérieur du tube par des systèmes magnétique ou mécanique.

Les films sont ensuite traités dans une machine automatique de développement qui livre le film sec en 10min.

L'interprétation des images est faite par des contrôleurs très expérimentés qui transmettent les discisions au poste de réparation par un système de fiches, simple et efficace.

Les extrémités des tubes sont contrôlées aux RX sur deux installations séparées, à la sortie du banc d'épreuve. [16]

III.4.4. Présentation de résultats :

Après l'application de contrôle par radiographie par le rayonnement X sur la ligne de gaz de l'échangeur les résultats obtenus sont suivants :

Le film est développé et interprété sous un éclairage adapté, nous avons remarqué sur la droite de la radiographie, la présence cratère à la racine

Sur la surface interne le long du joint de soudure, dépression très sévère dans le centre du cordon à la racine provoquant un creux mais habituellement localisé.

L'image radiographique révèle une zone localisée de densité plus sombre sur une très petite distance ou on remarque du cordon de soudure. Cela peut être plus large que la largeur même de la passe à la racine.

La présence de défaut acceptable (accepter).



Fig.III.10. Radioscopie sur écran amorphe acier au carbone, épaisseur du joint 5,49 (avec RX 300 kV).

III.4.5. Analyse des résultats

Nous avons appliquée le contrôle par radiographie sur la ligne de gaz de l'échangeur obtenus des résultats nous avons constaté que cette technique se caractérise par :

- détection des défauts de surface ou volumique dans tous les matériaux;
- Energies X disponibles : de quelques Kev jusqu'à 15 Me;
- Possibilité de radiographier des formes complexes et des épaisseurs d'acier variant de quelques micromètres à 600 mm ;
- Dimensionnement et identification possible des défauts;
- Sensibilité de détection des défauts très élevée pour certaines techniques ;
- Sensibilité de détection de l'ordre de quelques μm avec grossissement ;
- Examen possible en temps réel (radioscopie);
- Pas de zone morte sous la surface;
- Conservation possible des radiogrammes plusieurs dizaines d'années ;
- Transportabilité (générateurs de rayons X de faibles énergies, appareils de radiographie gamma portatifs d'environ 20 Kg) ;
- l'examen d'une radiographie révèle l'emplacement des défauts. Cependant, la profondeur à laquelle le défaut se situe ne peut pas être déterminée par un contrôle par rayons x effectué suivant une seule direction ;

Conclusion Générale

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude établi pour l'obtention du diplôme de master professionnalisant en génie mécanique spécialité maintenance industrielle, on a effectué un stage pratique au niveau du complexe GL1/Z d'Arzew. Durant ce séjours, on essayer de nous introduire au monde des contrôles par contrôle non destructif de manière à approfondir de connaissance et acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine.

En effet, durant ce stage au sein de complexe GL1/Z d'Arzew, nous avons tout d'abord, compris à quel point est l'importance des techniques de contrôle non destructif dans la conservation de l'intégrité des pièces. Ça nous a aussi, permis de déceler les défauts types de défauts soit : de type surfaces où volumiques, ainsi que de vérifier l'état d'intégrité des structures selon leurs modes de fonctionnement. Et bien cela sans l'attente au bon état ni à la sécurité de la pièce analysée. Le choix d'une technique dépend d'un grand nombre de facteurs, tels que : la nature des matériaux inspectés, les types de défauts recherchés, les phénomènes physiques adoptés pour l'analyse, qui peut se résumer généralement au types de techniques(thermique ; électromagnétique ;....).

Après avoir soumis la pièce au phénomène physique désiré selon les conditions du test précis, réceptionne une réponse que son analyse ne révèle les résultats recherchés.

Cette étude a été conduite en vue de prédire la nature et l'emplacement des défauts dans trois pièces différentes, analysée chacune par une des trois techniques de contrôle non destructif. Le choix de la technique et le défaut recherché permet de conclure sur l'efficacité de chaque méthode de Contrôle Non Destructif par rapport au type de défaut détecté.

Les technique utilisées sont le ressuage, la magnétoscopie et radiographie en vue de localiser, dimensionner et identifier certain nombre des défauts.

Les résultats de l'étude ont montré l'efficacité de ces contrôles pour la détection des défauts, de telle manière que :

Pour les défauts surfaciques, le ressuage et la magnétoscopie sont d'une efficacité incontournable pour détecter d'éventuels défauts débouchant et sous-jacent. Ainsi peuvent être utilisé dans de nombreux domaines, pour leurs caractéristiques de mise en œuvre définies comme : Facilité à exécuter ; facilité de la lecture des résultats ; fiabilité de l'analyse ; ainsi, que d'un point économique ils sont réalisés à faible cout.

Conclusion Générale

Pour les défauts volumiques, la radiographie est d'une efficacité incontournable pour détecter d'éventuels défauts internes. Ainsi peuvent être utilisés dans de nombreux domaines, pour leurs caractéristiques mais avec grandes précautions et avec les présences de spécialistes, puisque la mise en œuvre est définies comme : Difficile à exécuter; des difficultés de la lecture des résultats ; ainsi, que d'un point économique il est réalisés à coûts de fonctionnement élevés. Mais reste une technique très fiable par rapport à d'autres méthodes.

Références
Bibliographique

- [1] **BRAHIM RAMDAN** ; contribution à la modélisation tridimensionnelle de la technique Thermo-inductive de contrôle non destructif, développement d'un outil de conception, d'analyse et d'aide à la décision ; Thèse de doctorat Electronique et Génie Electrique ; Université de Nantes 2009.
- [2] **RACHIDE BOURAS**; UMMTO Contrôle Non Destructif.
- [3] Rubrique Technique et Application, Construction Métallique n°2-2004.
- [4] **RABHI MOULDI** ; contrôle non destructif(CND) 2016.
- [5] **Jacques DUMONT- FILLON** ; Techniques de l'ingénieur ; contrôles non destructifs.
- [6] **COFEND**, Texte élaboré en collaboration avec **Patrick DUBOSC** et **Pierre CHEMIN**, 2012.
- [7] **JEAN PERDIJON** ; Hermes 1993 ; le contrôle non destructif par ultrasons.
- [8] **Frija MOUNIR** ; Cours CND ; Institut Supérieur des Systèmes Industriels de Gabès ISSIG.
- [9] **HADJ BRAHIM BOUJEMAA** ; Contrôle Non Destructif ; ISET siliana 2017/2018.
- [10] **EVARD et DUBRESSON** ; La qualité d'image en radiographie ; Supplément du bulletin de l'ATEN, no 78 (1969).
- [11] **Imad ABBAS** Guide CND ; les techniques de contrôles non destructifs des soudures ; 2010.
- [12] **BEN REZZAK SAMIR** ; Etude de la performance d'un compresseur centrifuge multi étage K101A de la station de Oued Noumer ; mémoire master de génie mécanique Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ; 2012.
- [13] **MICHEL BRAMAT** ; Ingénieur, conseil ; Technologie des métaux ; contrôles et essais des soudures.
- [14] **HADJOUI FETHI** ; étude du comportement des aciers pour pipelines à différentes grades ; thèse doctorat en génie mécanique ; université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ; 2013.
- [15] **BELLAHCENE ABDERRAHIM** ; Etude de la nocivité des défauts dans les canalisations sous environnement hydrogène ; Thèse de doctorat génie mécanique Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2008.
- [16] **JEAN PIERRE JANSEN** ; Aciers pour tubes résistant à la fissuration induite par l'hydrogène sulfure ; société EUROPIPE 1992.

Résumé :

Cette étude a été conduite en vue de prédire la nature et l'emplacement des défauts dans trois pièces différentes, analysée chacune par une des trois techniques de contrôle non destructif. Le choix de la technique et le défaut recherché permet de conclure sur l'efficacité de chaque méthode de CND par rapport au type de défaut détecté. Les résultats de l'étude ont montré l'efficacité de ces contrôles pour la détection des défauts, de tel-sorte que: Pour les défauts surfaciques, le ressuage et la magnétoscopie sont d'une efficacité incontournable pour détecter d'éventuels défauts débouchant et sous-jacent. Alors que pour les défauts volumiques, la radiographie est d'une efficacité incontournable pour détecter d'éventuels défauts internes.

Mots clés: CND, défauts de surfaciques, défauts de volume, ressuage, magnétoscopie, radiographie.

الملخص :

أجريت هذه الدراسة للتعرف بطبيعة وموقع العيوب في ثلاث غرف مختلفة، كل تحليلها بواسطة واحدة من ثلاث تقنيات فيما CND الاختبار غير المدمرة. إن اختيار التقنية والعيوب المطلوبة يجعل من الممكن الاستنتاج بشأن كفاءة كل طريقة يتعلق بنوع العيب المكتشف. أظهرت نتائج الدراسة فعالية عناصر التحكم هذه للكشف عن العيوب، بحيث: بالنسبة للعيوب السطحية، يعد النزيف والجسيمات المغناطيسية ضروريين للكشف عن أي عيوب ناتجة و الكامنة. بينما في حالة العيوب الحجمية ، فإن الأشعة السينية ذات كفاءة أساسية للكشف عن أي عيوب داخلية.

Abstract:

This study was conducted to predict the nature and location of defects in three different rooms, each analyzed by one of three non-destructive testing techniques. The choice of the technique and the defect sought makes it possible to conclude on the efficiency of each CND method with respect to the type of defect detected. The results of the study have shown the effectiveness of these controls for the detection of defects, so that: For surface defects, bleeding and magnetic particle are essential for detecting any defects resulting and underlying. While for volumetric defects, the X-ray is of essential efficiency to detect any internal defects.