

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique
Département de Génie Chimique

*MEMOIRE DE
POST-GRADUATION SPECIALISEE
« Economie de l'Energie, Maîtrise et Applications »*

Intitulé :

**COMPARAISON DES METHODES D'EVALUATION
DE L'INTEGRITE DES CANALISATIONS DE
TRANSPORT DES HYDROCARBURES**

Présenté par : Ali Safi GHEZAL

Soutenu le 26 Novembre 2008 devant la commission d'examen :

Pr. E.H. BENYOUCEF
Dr. M. BENBRAIKA
Pr. M. HADDADI

Président
Examineur
Rapporteur

Mr A.MAKHLOUF

Invité

Année Universitaire 2007-2008

مقارنة بين طرق تقييم حالة قنوات نقل المحروقات

ملخص:

القنوات تمكن من نقل كميات هائلة من البترول و الغاز من الآبار إلى مراكز التصفية في الحقول و مصانع التكرير و الموانئ
تأمين نقل هذه المواد مرتبط بحالة القنوات المستعملة و لهذا فإن المعرفة الجيدة لحالة القنوات تستوجب استعمال طرق تفتيش جد مناسبة
يوجد أنواع عديدة من العيوب في القنوات البعض منها غير مرغوب فيها و تستطيع أن تجعل حالة القناة في خطر و هناك بعض العيوب غير خطيرة و مقبولة و هناك أيضا أنواع عديدة من طرق التفتيش لبحث و تقييم هذه العيوب
عن اختيار الطريقة المناسبة للبحث عن عيب ما مرحلة جد مهمة لمعرفة مدى صلاحية القنوات
هذا البحث يتطرق للنقاط التالية

- إحصاء كل العيوب التي يمكن أن توجد في القنوات
- تعريف خطورة كل عيب
- إحصاء مختلف طرق التفتيش المستعملة
- تعريف مجال الاستعمال و حدود كل طريقة
- تحديد المحاسن و المساوئ لكل طريقة
- توضيح نقائص كل طريقة تفتيش القنوات المتبعة من طرف سونا طراك حاسي مسعود

Comparaison des méthodes d'évaluation de l'intégrité des canalisations de transport des hydrocarbures

RESUME

Les canalisations assurent le transport de grandes quantités de pétrole et de gaz des puits vers les centres de traitement sur champs et assurent également le transport de ces quantités vers les raffineries et les ports. La sécurisation de l'évacuation de ces produits dépend essentiellement de l'état des canalisations en cours d'exploitation. Une bonne connaissance de l'état des canalisations requiert l'utilisation de méthodes, techniques et procédures d'inspection appropriées.

Il existe plusieurs défauts sur les canalisations, certains sont nuisibles et peuvent mettre en danger l'intégrité des canalisations, par contre, d'autres défauts peuvent être acceptés. Il existe également plusieurs méthodes, techniques et procédures d'inspection pour détecter et évaluer ces défauts. La sélection de la méthode appropriée au défaut recherché est une étape essentielle pour une connaissance fiable de l'état des canalisations.

Ce projet consiste à :

- Effectuer un recensement exhaustif des différents défauts qui peuvent exister sur les canalisations.
- Identifier les risques inhérents à chaque défaut.
- Effectuer un recensement exhaustif des différentes méthodes d'inspection utilisées.
- Définir le domaine d'application et les limites d'utilisation de chaque méthode.
- Donner les avantages et les inconvénients de chaque méthode.
- Identifier les insuffisances de la procédure de contrôle des canalisations adoptée par SONATRACH/Hassi-Messaoud.

Mots clés : Contrôle non destructif, intégrité de canalisation, défaut, inspection,

Comparison of assessments method of hydrocarbon pipelines integrity

ABSTRACT

The pipeline is used to transport crude and gas from wells to facilities in the field and ensure the transportation of these products to refineries and harbours.

Therefore, this transportation needs to pay a particular attention of pipelines conditions in the operating phase. The good condition of pipeline requires the suitable methods, techniques and procedures of inspection.

Many defects exist in the pipeline; some of it are vulnerable and could cause the undesirable events; however others defect could be in the acceptable level.

Many methods, techniques and procedures of inspection exist, in order to detect and assess the defects. The selection of suitable method for finding the defects constitute the essential step of reliable knowledge of pipeline.

The aim of the project:

- Perform an exhaustive inventory of different defect that could exist in the pipelines;
- Identify the inherent risks for each defect;
- Perform an exhaustive inventory of inspection methods used;
- Define the application area and its limits for each method;
- Define the advantage and disadvantage of each method;
- Identify the weaknesses of pipeline control procedure adopted by Sonatrach Company.

Key words:

Pipeline integrity, non-destructive examination, pipeline defect, inspection.

SOMMAIRE

Introduction.....	06
Chapitre I : Canalisations de transport des hydrocarbures.....	07
I.1 Définition.....	08
I.2 Rôle et nécessité.....	09
I.3 Conception	09
I.4 Protection contre la corrosion.....	10
I.5 Appareillages et accessoires.....	11
I.6 Exploitation	12
I.7 Sécurité et surveillance	12
I.8 Entretien	12
Chapitre II : Types de défauts et dommage des pipelines.....	14
II.1 Définitions.....	15
II.2 Principales origines de défauts	15
II.3 Principaux types de défauts.....	17
II.4 Caractérisation des défauts.....	18
II.5 Défauts de canalisation : définitions et caractérisation radiographique	18
II.6 Paramètres de défaut	20
II.7 Types de défauts	20
II.8 Statistiques des endommagements du piping.....	24
Chapitre III : Inspection pendant et après pose.....	26
III.1 Inspection avant pose.....	27
III.2 Inspection interne en service.....	28
III.3 Inspection intégrée (In-Line Inspection ILI).....	29
III.4 Suivi externe en service.....	30
III.5 Propriétés du matériau dans l'évaluation du défaut	31
Chapitre IV : Méthodes de contrôles non destructifs standards.....	32
IV.1 Objet des CND	33
IV.2 Définition	33
IV.3 Domaines d'application des CND	34
IV.4 Choix de méthode de CND	34
IV.5 Examen visuel	35
IV.6 Contrôle par ressuage.....	36
IV.7 Contrôle radiographique.....	38
IV.8 Contrôle par magnétoscopie.....	41
IV.9 Contrôle par ultrasons.....	43
Chapitre V : Méthodes de CND spécifiques aux canalisations.....	50
V.1 L'inspection par racleurs instrumentés	51
V.2 Anatomie d'un racleur	51
V.3 Les différents types de racleurs	52
V.4 Les technologies de mesures	52
V.5 La recherche de manques de métal	53
V.6 La recherche de fissures longitudinales	54
V.7 Emploi des racleurs pour la maintenance des pipelines	55
V.8 Racleurs de géométrie	56

Chapitre VI : Avantages, inconvénients et limites des méthodes de CND.....	58
VI.1 Le contrôle visuel.....	59
VI.2 Le contrôle par ressuage.....	59
VI.3 Le contrôle radiographique.....	60
VI.4 Le contrôle par magnétoscopie.....	60
VI.5 Le contrôle par ultrasons.....	61
VI.6 Les racleurs magnétiques	61
VI.7 Les racleurs ultrasoniques	63
Chapitre VII : Procédure d’inspection des canalisations dans le champ de Hassi-Messaoud.....	65
VII.1 Plan de suivi et contrôle.....	66
VII.2 Procédure d’inspection des canalisations.....	74
VII.3 Insuffisances et recommandations.....	75
Conclusion.....	77
Bibliographie.....	79

Introduction

Les méthodes de contrôle non destructif (CND) permettent de tester l'état d'intégrité de structures industrielles sans les dégrader. Différentes techniques sont disponibles : ressuage, magnétoscopie, ultrasons, radiographie, etc. Ces méthodes peuvent être appliquées avant, pendant et après la mise en service de l'installation. De nombreuses industries y font appel : aéronautique, aérospatiale, transport, énergie, sidérurgie, génie civil, etc. Différents niveaux de contrôle existent, permettant de détecter, localiser, identifier et dimensionner des défauts sans altérer les propriétés d'usage des structures contrôlées.

L'industrie de fabrication des tubes et l'activité transport par canalisation ont réalisé fait des avancées techniques importantes principales dans l'utilisation des technologies de contrôle non destructif (CND) afin d'améliorer la qualité des inspections intégrées.

A cet effet, ce projet décrit les diverses technologies de CND disponibles et présente des observations sur leur convenance pour détecter et caractériser des anomalies dans les canalisations de transport des hydrocarbures avant qu'elles ne deviennent des défauts nécessitant des réparations immédiates ou programmées.

CHAPITRE I

CANALISATIONS DE TRANSPORT DES HYDROCARBURES

I.1 Définition

On désigne par canalisations ou « pipelines » dans l'industrie pétrolière, les oléoducs et ou gazoducs qui sont des conduites de diamètres pouvant aller jusqu'à 48", voire plus. Celles-ci sont le plus souvent en acier, constituées d'éléments linéaires soudés bout à bout, et dans lesquelles transitent, sous des pressions relativement élevées, le pétrole, le gaz naturel et les produits pétroliers. Ces fluides sont propulsés par des stations de pompage pour les liquides et des stations de compression pour les gaz.



Figure 1: Le réseau de pipeline dans son environnement

Les canalisations de transport des hydrocarbures traversent sur leur passage des terrains les plus variés. Ses caractéristiques principales (diamètre, épaisseur, nuance d'acier, spécifications de construction, température et pression d'exploitation...) sont régies par un ensemble de règles et font l'objet de multiples calculs et de compromis économiques.

Le diamètre d'une canalisation est déterminé en fonction du débit des produits à acheminer, de leur viscosité et 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. Une fois les considérations technico-économiques ont permis de fixer le diamètre et la pression maximale de service, l'épaisseur est calculée sur la base de la pression maximale de service et les propriétés mécaniques de l'acier (limite élastique et charge de rupture).

Les autorités administratives des différents pays responsables de la sécurité des populations dont le territoire est traversé par les pipelines, ne restent pas indifférentes à ces calculs qui déterminent le niveau de sûreté de l'installation.

Dans la plupart des pays où l'on pose des pipelines, des règlements techniques fixent les exigences que doivent respecter les constructeurs et les exploitants. Ces règlements reposent sur les notions de pression maximum de service, de coefficient de sécurité et d'autres conditions de construction comme le mode d'inspection des tubes, les modalités des essais sous pression devant être menés à bien avant la mise en service de toute canalisation, les dispositions spéciales de protection à prendre contre les fuites dans les zones où celles-ci auraient des conséquences particulièrement dangereuses (par exemple, les zones de captage d'eau, etc.).

I.2 Rôle et nécessité

Du fait que les gisements de pétrole brut et de gaz naturel sont souvent éloignés des raffineries, des installations de transformation et des centres de consommation, les canalisations sont nécessaires pour transporter les matières premières de leur source aux raffineries et pour les traiter ou les transformer dans des installations spécifiques avant de les mettre sur le marché.

D'autres formes de transport existent, mais le transport par canalisations restent le moyen de transport le plus économique par rapport aux méthaniers pour le transport du gaz naturel, et presque l'unique moyen de transport de pétrole à partir des gisements vers les raffineries et les installations de transformation (à l'exception des gisements de petite taille où le transport routier et voies ferroviaires restent envisageable).

I.3 Conception

La conception d'une canalisation de transport des hydrocarbures implique la prise en compte de plusieurs points, notamment :

- Les distances parcourues,

- Les quantités transportées,
- Les points de prise de produit et de livraison,
- Le profil (topographie du relief traversé par la canalisation),
- Fluides transportés,
- Les prévisions d'augmentation des quantités à transporter,
- Les pressions départ et arrivée.

Ces aspects dictent le diamètre, la nuance de l'acier, l'épaisseur, le nombre de stations de pompage et de compression.

La détermination du tracé de la canalisation est influencé par des facteurs tels que :

- Sécurité des personnes et biens (zones habitées et zones fréquentées par le public,
- Protection de l'environnement,
- La nature du terrain traversé (agressivité, difficulté d'excavation),
- L'acquisition de terrains traversés,
- L'accessibilité.

I.4 Protection contre la corrosion

L'acier présente, par rapport à d'autres matériaux comme la fonte ou le plastique, l'inconvénient d'être sensible à la corrosion externe, notamment lorsqu'il est enterré dans le sol.

L'utilisation de canalisations en acier pour le transport de produits tels que les hydrocarbures suppose donc que l'on ait trouvé des moyens sûrs de les protéger contre les phénomènes d'attaque par les différents éléments agressifs que peuvent recéler les sols pour ce qui est de la corrosion externe ou bien les produits transportés eux-mêmes pour ce qui est de la corrosion interne. Ces moyens doivent permettre d'éliminer pratiquement tout risque de corrosion fuite dans le cours d'une exploitation normale des canalisations. Les règlements administratifs ont également leurs exigences dans ce domaine.

Il est préférable d'imposer des mesures propres à éliminer la corrosion plutôt que des épaisseurs de pipeline supérieures. Ces mesures consistent, en ce qui concerne la corrosion externe, en l'application d'un revêtement isolant sur l'acier et d'une protection cathodique, et, en ce qui concerne la protection interne, en l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion et éventuellement aussi, en l'application de revêtement interne à base de peintures spéciales.

Cependant, quelles que soient les qualités intrinsèques du revêtement et le soin que l'on apporte à son application, il présentera toujours des imperfections et il ne suffira donc jamais à empêcher définitivement la corrosion qui se concentrera au contraire dans les espaces découverts par ces défauts de la protection (fissures, piqûres, etc.).

Un revêtement doit donc être complété par une protection cathodique, procédé électrique qui, grâce à une modification permanente du potentiel électrique de la canalisation protégée, permet d'arriver à un arrêt pratiquement absolu des phénomènes de corrosion. La protection cathodique est un procédé d'une grande importance qui a permis le développement à grande échelle des canalisations en acier sous haute pression pour le transport des hydrocarbures liquides ou gazeux dans des conditions de sécurité pratiquement optimales.

Les méthodes utilisées pour appliquer la protection cathodique mettent en oeuvre l'effet de piles procuré par des métaux plus électronégatifs que l'acier, aluminium, magnésium et zinc en particulier (anode sacrificielle), ou l'inversion de la pile galvanique par l'injection d'un courant continu sur la canalisation à protéger (courant imposé).

La combinaison « revêtement - protection cathodique » est donc une solution entièrement satisfaisante au problème de la corrosion de l'acier ; il est seulement nécessaire d'appliquer le discernement et l'expérience indispensables dans le choix des éléments de solutions les mieux adaptées à chaque cas particulier et dans le calcul des installations de protection cathodique.

I.5 Appareillages et accessoires

On trouve le long des pipelines un ensemble d'accessoires et d'appareillages de contrôle. Ces appareillages accessoires comprennent des installations de contrôle, de filtration, éventuellement de comptage (compteurs volumétriques ou débitmètres à orifices, ainsi que les installations d'étalonnage nécessaires), des dispositifs d'envoi de pistons racleurs (gares de racleurs constituées de sections de canalisation dont le diamètre légèrement augmenté permet l'introduction ou le retrait de pistons racleurs destinés à nettoyer ou à inspecter les pipelines), etc. Ils font intervenir les mêmes types de matériels que ceux utilisés dans les autres installations pétrolières : vannes en acier moulé, contrôleurs ou régulateurs de pression pneumatiques ou électroniques, filtres à panier relativement grossiers, etc.

I.6 Exploitation

Les particularités de l'exploitation des installations de pipelines proviennent essentiellement de deux caractéristiques : leur dispersion, d'une part, et la recherche de la sécurité, d'autre part.

Dans les pipelines de production, le mélange transporté se compose d'hydrocarbures gaz de pétrole (phase gazeuse), huile (phase liquide) et condensât (phase intermédiaire). Il n'y a aucun problème de pression ou de planification, puisqu'il s'agit d'effluents non traités issus du puits circulant sous une pression relativement constante.

I.7 Sécurité et surveillance

Le souci de sécurité pour une canalisation de produits dangereux tel que les hydrocarbures, traversant des zones habitées ou fréquentées par la public, devient de toute évidence primordial.

L'expérience a montré que les canalisations sont en fait des moyens de transport très sûrs, et que, si les précautions nécessaires sont prises, les accidents deviennent extrêmement rares.

Les dispositions prises lors de la construction doivent être complétées par un certain nombre de règles d'exploitation.

La balance des entrées et des sorties doit être surveillée soigneusement et régulièrement et des essais en pression des canalisations effectués à intervalles plus ou moins éloignés (de l'ordre de l'année) pour mettre en évidence les faiblesses éventuelles des installations et détecter les défauts d'étanchéité particulièrement aux vannes, joints, etc

Enfin, le tracé doit faire l'objet d'une surveillance exercée par le personnel du pipeline : visites régulières, par des marcheurs, des chambres de vannes, survols par hélicoptères volant à basse altitude permettant de découvrir un changement de coloration de la végétation révélateur de fuites éventuelles et, surtout, de signaler à l'avance les dangers que peuvent faire courir à la canalisation des travaux exécutés à proximité. Il s'est avéré en effet, que la plupart des incidents sur les canalisations provenaient de causes extérieures.

I.8 Entretien

Les interventions d'entretien sont caractérisées par la nécessité d'opérer rapidement sur des canalisations en pression sans avoir à les vider et, autant que possible, sans interrompre l'exploitation.

Les opérations élémentaires que l'on est amené à réaliser sont essentiellement la soudure sur la canalisation d'accessoires divers (branchements, plaques de renforcement, etc.), le découpage dans la paroi des canalisations d'orifices permettant d'alimenter des branchements, et enfin la coupe et le renforcement de sections de canalisations, par exemple pour réaliser une déviation de tracé.

Enfin, il existe de nombreuses pièces spéciales d'outillage (manchons de raccordement, colliers de réparation de fuite, etc.) qui viennent compléter le gros outillage et permettent de pratiquer, dans les meilleures conditions de sécurité et de rapidité, toutes les opérations courantes ou exceptionnelles d'entretien, en réduisant au minimum le trouble apporté à l'exploitation.

CHAPITRE II

TYPES DE DEFAUTS ET DOMMAGE DES PIPELINES

II.1 Définitions

- Un défaut est une imperfection de matière ou de forme, qui compromet la conformité de l'objet qui en est affecté à ses spécifications ou objectifs explicites ou implicites (*notion relative*).
- Une indication est un signe physique traduisant la présence possible d'un défaut. Une indication dont l'origine réelle n'est pas un défaut est dite parasite.
- Les méthodes de CND exploitent diverses propriétés physiques pour faire apparaître des indications. Les populations de défauts et d'indications (émanant de diverses méthodes d'examen) ne sont pas forcément identiques.

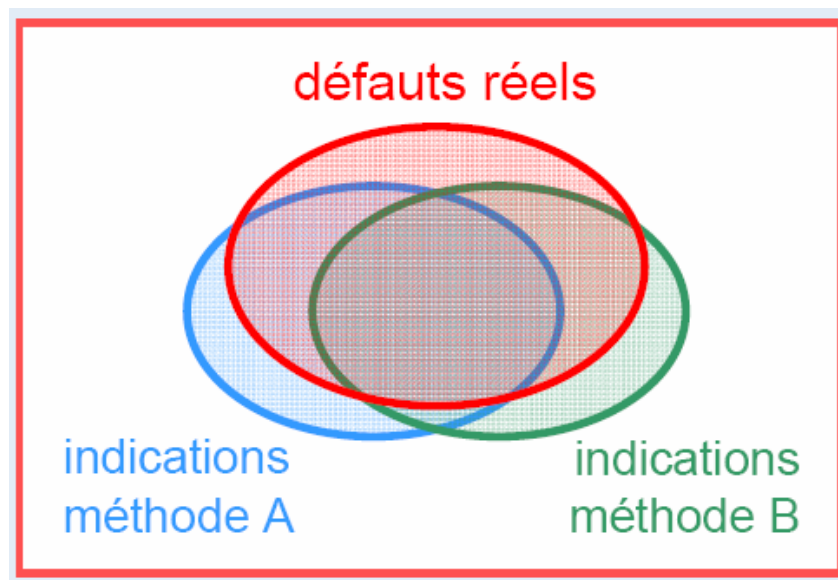


Figure 2 : défaut et son indication

II.2 Principales origines de défauts [1]

Défauts de fabrication

Ils sont générés par les différents procédés de construction, y compris le soudage

- défauts de forme (a)
- inclusions et porosités (b)
- manque de fusion ou de pénétration (c)
- fissuration (d)

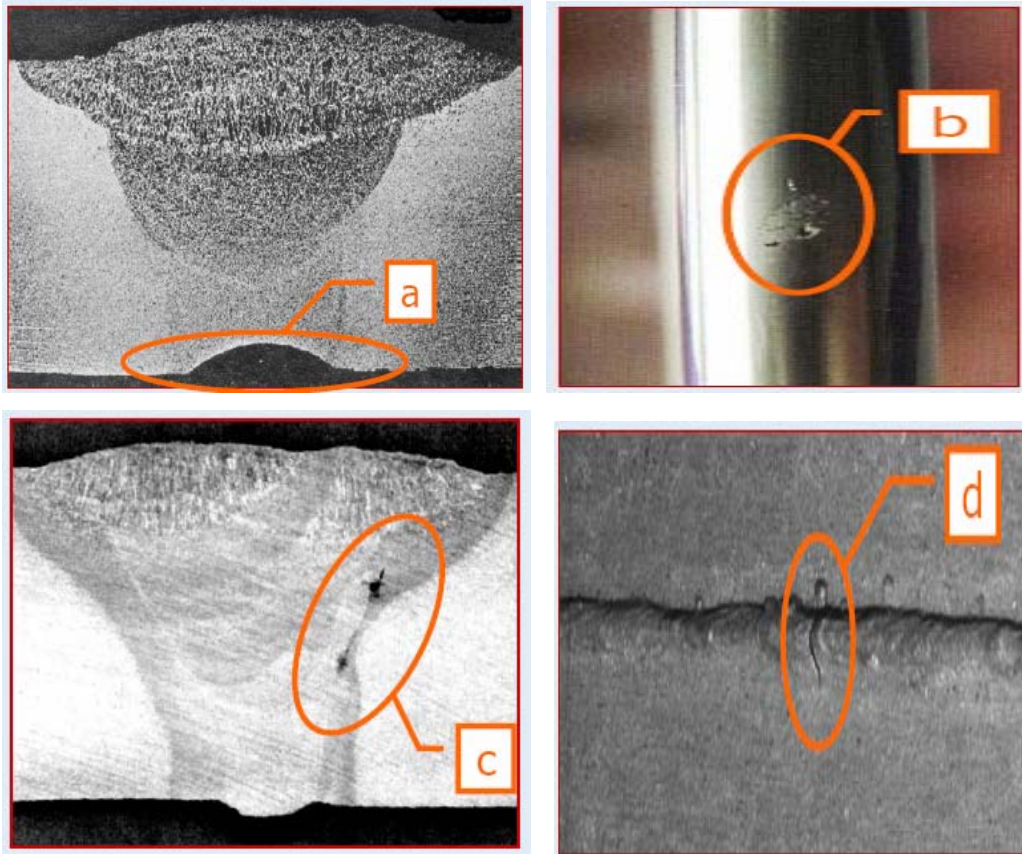


Figure 3 : Différents types de défauts de fabrication

Défauts de service

- érosion (a)
- fissuration par fatigue (b) (mécanique ou thermique)
- corrosion ponctuelle (c) ou fissurante (d)

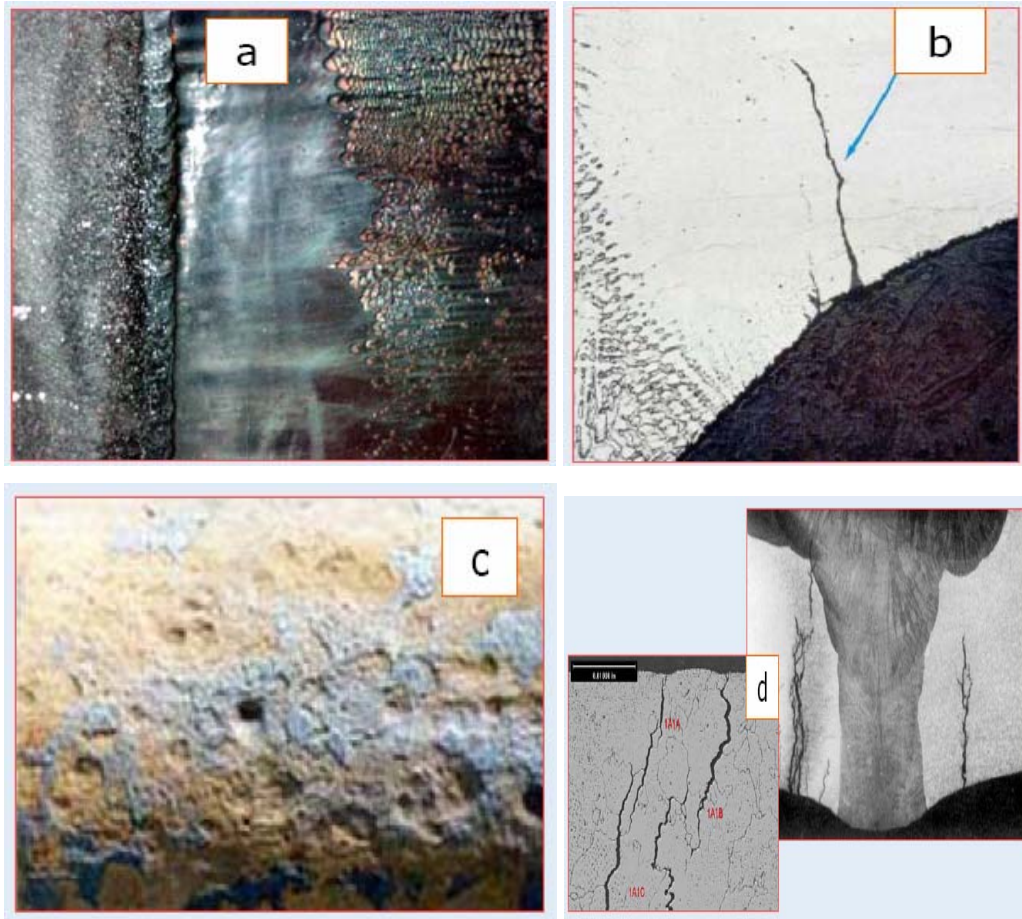


Figure 4 : Différents types de défauts de service

II.3 Principaux types de défauts

Tableau 1 : Différents types de défauts

<i>TYPE</i>	<i>Défauts de fabrication</i>		<i>Défauts de service</i>	
<i>ORIGINE</i>	<i>Matière</i>	<i>Soudage</i>	<i>Fatigue</i>	<i>Corrosion</i>
<i>Défauts volumiques</i>	inclusions, porosités, retassures	inclusions, défauts de forme	-	piqûres, décohésion, corrosions diverses
<i>Défauts plans</i>	fissures	manques de fusion, manques de pénétration, fissures	fissures de fatigue mécanique ou thermique	fissures de corrosion

Un défaut plan est plus susceptible de se propager qu'un défaut volumique.

II.4 Caractérisation des défauts

Les défauts se caractérisent par leur :

- origine: fatigue, corrosion, soudage,...
- type: plan, volumique, linéaire,...
- orientation: axiale, circonférentielle,...
- taille: hauteur h ; longueur ℓ
- position relative S
- état de surface

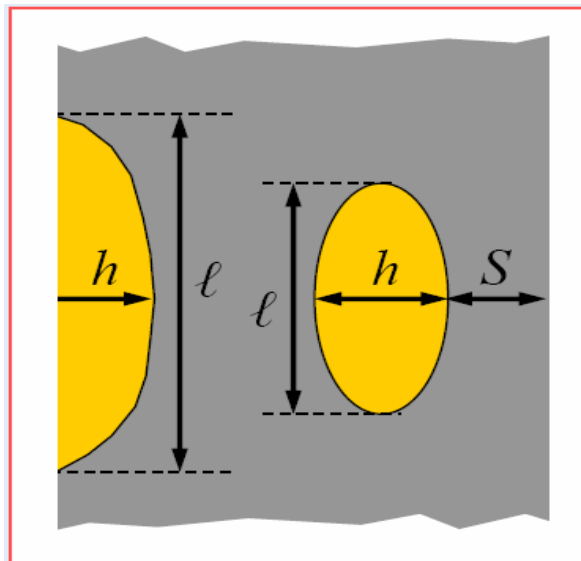


Figure 5 : Caractérisation d'un défaut

II.5 Défauts de canalisation : définitions et caractérisation radiographique

SOUFLURE :

Définition :

Vide causé par le gaz emprisonné

Caractérisation radiographique

Ombres foncées de forme arrondie ou prolongée

INCLUSIONS DE LAITIERS :

Définition :

Laitiers enfermés pendant la soudure

Caractérisation radiographique

Ombres foncées de forme irrégulière

LIGNES DE LAITIERS :

Définition :

Cavités ovales contenant du laitier

Caractérisation radiographique

Lignes foncées parallèles aux bords de soudure

MANQUE DE FUSION :

Définition :

Défaut plat dû à la fusion inachevée entre les passes ou entre le métal d'apport et le métal de base

Caractérisation radiographique

Ligne foncée mince bords bien définis.

MANQUE DE PÉNÉTRATION:

Définition :

Remplissage inachevé de la racine de soudure avec le métal d'apport

Caractérisation radiographique

Ligne continue ou intermittente foncée

FISSURES :

Définition :

Rupture dans le métal de soudure ou dans la zone affectée thermiquement

Caractérisation radiographique

Ligne foncée fine.

CANIVEAU :

Définition :

Une ouverture sur la surface du pipe qui est située tout au long de la soudure

Caractérisation radiographique

Ligne foncée le long du bord de la soudure.

II.6 Paramètres de défaut

Défaut : Une fissure, une piqûre, une gouge, une bosselure, une anomalie métallurgique, ou une combinaison de deux ou plus de ce qui précède qui est connu ou suspecté pour réduire la résistance du pipe

Défaut de la surface externe : Un défaut émanant et se prolongeant radialement de la surface extérieure vers l'intérieur

Défaut de la surface interne : Un défaut émanant et se prolongeant radialement de la surface intérieure vers l'extérieur

Défaut intérieur : Un défaut émanant à l'intérieur de la paroi du pipe mais pas de l'ampleur radiale suffisante à relier à la surface intérieure ou extérieure.

Fuite externe : Un défaut qui était initialement un défaut de la surface externe, mais qui s'est développé par la paroi pour devenir une fuite

Fuite interne : Un défaut qui était initialement un défaut de la surface interne, mais qui s'est développé par la paroi pour devenir une fuite

Défaut superficiel : Un recouvrement, crevasse, piqûre, groupe de piqûres, anomalie métallurgique, ou bosselure plate (c.-à-d., sans éraflures, ou fissures) qui est de l'ampleur insuffisante pour réduire la résistance du pipe

II.7 Types de défauts

Défauts provenant de la fabrication du pipe

- Défaut pas nécessairement dans la soudure (principalement dans le corps du pipe)
 - **Recouvrement** : Le pli du métal qui a été roulé ou travaillé sur la surface du métal roulé, mais n'a pas fondu dans le métal sain.
 - **Piqûre** : Une dépression résultant de l'enlèvement d'une matière étrangère roulé dans la surface pendant la fabrication.
 - **Rouler-dans des lingots** : Un corps métallique étranger roulé dans la surface du métal, habituellement non fondue

- **Crevasse** : un creux dans le métal roulé qui a été fermé par travail de roulement ou autre mais n'a pas été fondu dans le métal sain
- **Tache dure** : Une partie du pipe avec une dureté considérablement plus élevée que celle du métal environnant ; habituellement causé par l'extinction localisée
- **Fissure** : Une déchirure provoquée par la tension du métal qui est insuffisante dans l'ampleur pour causer la rupture complète du métal
- Défauts dans le cordon de soudure
 - **Manque de fusion** : Manque de coalescence complète d'une partie du métal dans le cordon de soudure
 - **Manque de pénétration** : Une condition où le métal de soudure ne continue pas toute l'épaisseur du cordon
 - **Dégagement** : La réduction de l'épaisseur de la paroi du pipe à côté de la soudure où il est fondu sur la surface du pipe
 - **Fissure de la zone de soudure** : Une séparation provoquée par la tension du métal qui, sans n'importe quelle autre influence, est suffisante dans l'ampleur pour causer la rupture complète du métal)
 - **Pénétration** : Une tache localisée de fusion inachevée
 - Soudure froide : Une limite inexacte métallurgique indiquant généralement un manque de force proportionnée de liaison de soudure, due à la chaleur et/ou à la pression insuffisantes.

Défauts provenant de l'environnement externe ou interne de la pipe

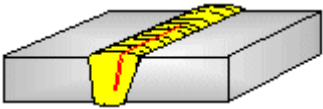
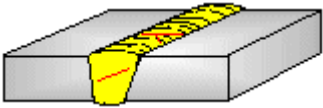
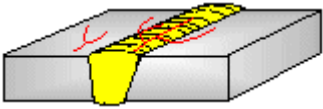
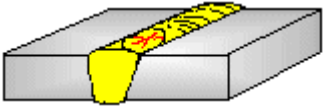
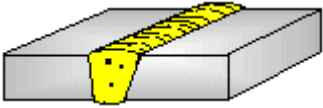
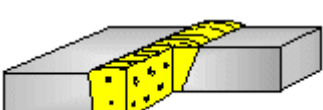





- Défaut de soudure de couture
 - **Corrosion sélective** : Corrosion préférentielle dans la ligne de fusion
 - **Fissure d'effort d'hydrogène (HSC)**: Fissure du métal de soudure ou de la zone affectée thermiquement
- Défauts pas dans le corps du pipe : Probablement dans la soudure mais pas nécessairement causé par la soudure.

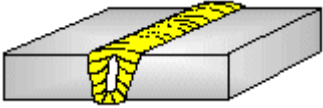
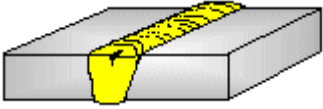
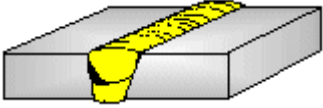
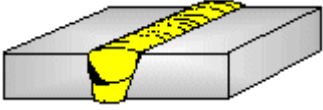
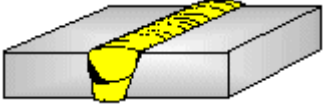
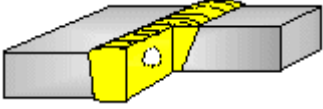
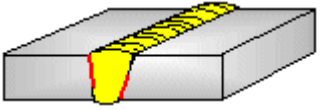
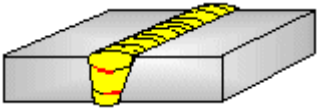
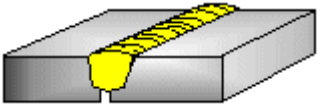
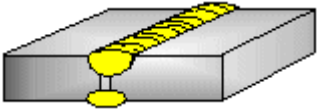



Les défauts de soudure, d'endommagement mécanique et de corrosion peuvent être définis comme suit :











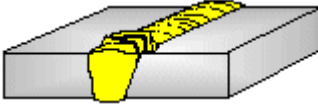
- **Fissures**
- **Cavités**
- **Inclusions solides**

- **Manque de fusion / Manque de pénétration**
- **Défauts de forme**

Tableau 2 : Défauts de soudure

Désignation	Illustration	Term in English
FISSURE LONGITUDINALE		LONGITUDINAL CRACK
FISSURE TRANSVERSALE		TRANSVERSE CRACK
FISSURES RAYONNANTES		RADIATING CRACK
FISSURES DE CRATÈRE		CRATER CRACK
SOUFFLURE SPHÉROÏDALE		GAS PORE
SOUFFLURES UNIFORMÉMENT REPARTIES		UNIFORMLY DISTRIBUTED POROSITY
NID DE SOUFFLURES		CLUSTERED POROSITY
SOUFFLURES ALIGNÉES		LINEAR POROSITY
SOUFFLURES ALLONGÉES		ELONGATED POROSITY
SOUFFLURE VERMICULAIRE		WORM HOLE
PIQÛRE		SURFACE PORE

RETASSURE INTERDENTRITIQUE		INTERDENDRITIC SHRINKAGE
RETASSURE DE CRATÈRE		CRATERE PIPE
INCLUSION DE LAITIER		SLAG INCLUSION
INCLUSION DE FLUX		FLUX INCLUSION
INCLUSION D'OXYDE		OXIDES INCLUSION
INCLUSION MÉTALLIQUE		METALLIC INCLUSION
MANQUE DE FUSION DES BORDS ou COLLAGE		LACK OF FUSION
MANQUE DE FUSION ENTRE PASSES		LACK OF FUSION
MANQUE DE PÉNÉTRATION		LACK OF PENETRATION
MANQUE D'INTERPÉNÉTRATION		LACK OF PENETRATION
CANIVEAU		UNDERCUT
MORSURE		UNDERCUT
CANIVEAU A LA RACINE		SHRINKAGE GROOVE

SURÉPAISSEUR EXCESSIVE		EXCES WELD METAL
EXCÈS DE PÉNÉTRATION		EXCESSIVE PENETRATION
GOUTTE OU EXCÈS LOCAL DE PÉNÉTRATION		EXCESSIVE PENETRATION
DÉBORDEMENT		OVERLAP
DÉFAUT D'ALIGNEMENT		LINEAR MISALIGNMENT
DÉFORMATION ANGULAIRE		ANGULAR MISALIGNMENT
EFFONDREMENT		SAGGING
MANQUE D'ÉPAISSEUR		INCOMPLETE FILLED GROOVE
RETASSURE A LA RACINE		ROOT CONVEXITY
ROCHAGE		POROSITY DUE TO CARBONE MONOXIDE
MAUVAISE REPRISE		POOR RESTART

II.8 Statistiques des endommagements du pipelines

L'étude des statistiques des endommagements et défaillances constatés sur le piping est primordiale pour l'évaluation du degré de disponibilité de ce dernier, elle donne aussi les informations concernant la fréquence et le degré de défaillance et endommagement dépendant de plusieurs facteurs à savoir :

- cause d'endommagement
- zone de pose du pipeline
- diamètre et longueur du pipeline
- produit véhiculé

Il faut noter que ces informations ne donnent pas nécessairement un aperçu précis sur la tendance future du comportement de pipeline, elles doivent être systématiquement accompagnées d'une analyse des risques.

Les statistiques des défaillances et endommagements du pipelines ont montré que les principales causes se résument comme suit :

- la corrosion (interne et externe) est la principale cause de l'endommagement du pipeline suivie de l'endommagement mécanique
- les fissures sur pipe ou sur cordons de soudure ne représentent que quelques pourcents du nombre de défaillance du pipeline
- les endommagements sont remarqués beaucoup plus sur les petits diamètres que sur les grands diamètres
- les endommagements sont remarqués beaucoup plus sur les pipelines d'huile que sur les pipelines de gaz.

Ce genre d'informations peuvent être très utiles dans les différentes étapes de préparation et pose de pipes, à savoir :

- choix de la nuance,
- assemblage,
- choix du tracée ,
- maintenance et conservation du pipe,
- méthodes d'évaluation.

Elle contribue aussi à la réduction des coûts de poses et maintenance du pipeline

CHAPITRE III

INSPECTION PENDANT ET APRES POSE

L'objectif de l'inspection est de fournir les informations nécessaires pour pouvoir évaluer la qualité et le degré de disponibilité du pipeline.

L'inspection peut aussi réduire et résumer les détails d'information, à savoir :

- fournir les informations générales sur l'état du pipeline
- fournir les informations sur les défauts (taille, type,) nécessaires comme données de base pour l'établissement des procédures d'évaluation des défauts

III.1 Inspection avant pose

Le contrôle non destructif CND est une tâche très importante dans l'opération de pose du pipe. Il permet de détecter les défauts situés sur les soudures faites sur site.

Les CND appliqués sont :

- la radiographie panoramique largement répandue, avec la source placée à l'intérieur du pipe et un film enroulé autour du joint sur l'extérieur,
- les ultrasons mécanisés, capable de balayer la totalité de la soudure,
- la radiographie en temps réel, qui est en cours de développement, et qui a l'avantage d'éliminer les difficultés de la radiographie classique (temps de développement du film et l'interprétation).

L'expérience a montré la spécificité de chaque méthode utilisée, à savoir :

- la radiographie panoramique à mur unique s'est avérée adéquate pour la détection des défauts volumétriques. Cependant, il y a une possibilité de non détection des défauts plans désorientés.
- Les ultrasons se sont avérés plus fiables que la radiographie pour la détection des défauts plans plus nuisibles à une gamme des orientations dans différents endroits
- L'application de l'essai ultrasonique est difficile par manque de procédure codifiée contenant des conditions minimum pour effectuer les essais, particulièrement en ce qui concerne la sensibilité
- Il n'est également pas possible d'employer des normes courantes d'acceptation de défaut avec l'essai ultrasonique parce qu'ils sont écrits avec les termes de la radiographie. Des critères alternatifs d'acceptation écrits en termes ultrasoniques sont exigés.
- Il est possible d'employer l'essai ultrasonique pour fournir des informations au sujet de la taille du défaut à mettre en œuvre pour les essais mécaniques de rupture

- Les développements en radiographie numérique ont été rapides et la méthode est maintenant capable de concurrencer la radiographie conventionnelle en utilisant des films. Cependant, comme des ultrasons mécanisés, des procédures et les méthodes de travail doivent être établies
- Les systèmes mécanisés, que ce soit pour les ultrasons ou pour la radiographie doivent être conçus proportionnellement au rythme de production exigée et adaptés à l'environnement du chantier
- l'application des méthodes de CND récemment développées est difficile suite au manque de recueils d'instructions et de normes d'acceptation de défaut appropriés. Des conditions minimum pour effectuer des essais et des critères d'acceptation de défaut devraient être incorporées aux normes, couvrant au moins l'essai ultrasonique mécanisé et la radiographie numérique

III.2 Inspection interne en service

L'inspection interne de canalisation est accomplie avec un outil généralement appelé 'racleur'. Les racleurs sont employés pour différentes raisons opérationnelles et d'entretien. Selon leurs fonctions, les racleurs peuvent être divisés en deux groupes: racleurs conventionnels, qui effectuent des opérations relativement simples telles que le nettoyage (élimination de dépôts et débris), et les racleurs intelligent, qui fournissent des informations sur l'état d'une canalisation, et dont les fonctions incluent la détection, l'endroit et la quantification des défauts. Les racleurs conventionnels ont été mis en service il y a plus de 100 années, tandis que le premier racleur intelligent a été lancé il y a 55 ans.

Le mot racleur a été utilisé en premier temps pour décrire les dispositifs qui une fois conduit par des canalisations à la cire donne un coup de racloir sur la paroi interne et fait un bruit de couinement fort. Actuellement le mot racleur est employé pour décrire n'importe quel dispositif qui passe à l'intérieur d'une canalisation, véhiculé par le fluide de canalisation

L'inspection interne par racleur intelligent d'une canalisation peut être mentionnée par des appellations différentes, à savoir :

- surveillance/inspection interne
- racleur intelligent
- inspection intégrée : ILI (aux Etats-Unis)
- inspection en ligne : OLI (en Europe)

III.3 Inspection intégrée (in-line inspection ILI)

L'inspection intégrée (ILI) employant les racleurs intelligents a mûri rapidement pendant les dernières deux décennies. Actuellement elle est acceptée par une grande section de l'industrie de canalisation comme méthode fiable d'inspection, qui peut fournir des informations utiles sur l'état des canalisations permettant à des décisions d'être prises sur leur intégrité, réhabilitation ou réparation

Ce qui suit décrit les informations typiques qui peuvent être aisément fournies par des opérations d'ILI :

- La géométrie de canalisation : mesurant ou localisant l'ovalité, l'expansion, les bosselures, les rides, etc....
- Localiser les vannes partiellement fermées ou d'autres restrictions.
- Détermination des rayons de cintrage.
- Alignement de canalisation : mouvement ou courbure de la ligne qui peut être due à l'affaissement, à l'érosion, aux tremblements de terre, etc...
- Inspection visuelle : fournir des images de la surface interne de la canalisation.
- Pertes en métal : localisant et mesurant toute perte d'épaisseur due à la corrosion ou d'autres causes.

Beaucoup d'autres applications potentielles ont été identifiées, il s'agit de :

- Détection des fissures
- Détection des défauts de revêtement
- Contrôle de la protection cathodique
- Mesure de contrainte (stress)

Les conditions de base de n'importe quel système d'inspection de canalisation sont habituellement identifiées comme suit :

- Détecter, trouver et mesurer les défauts significatifs
- Fournir un niveau élevé de discrimination entre les défauts vrais et les faux signaux
- Fournir le maximum d'information pour permettre l'inspection totale de la canalisation entière

Pour satisfaire à ces besoins, des efforts substantiels de recherches et de développement ont été déployés. Ceux-ci ont été conduits par les implications stratégiques, environnementales et économiques d'assurer l'intégrité des canalisations.

La majeure partie de l'investissement en technologie d'ILI semble avoir été dépensée en racleur d'inspection de perte de métal.

La capacité de détecter, localiser et quantifier la perte de métal et les défauts a été considérée comme étape très importante pour assurer une exploitation sûre et économique de la canalisation.

Deux technologies ont été considérées comme méthodes favorites pour la détection et la quantification de la perte de métal :

- Fuite du flux magnétique MFL
- Les ultrasons

III.4 Suivi externe en service

La surveillance externe des canalisations peut fournir des données importantes sur les divers paramètres qui peuvent affecter l'intégrité de canalisation. La forme la plus évidente de surveillance externe est l'observation visuelle. Une opération de surveillance peut comporter l'inspection d'une canalisation entière, ou elle peut être limitée à surveiller des secteurs critiques connus.

Paramètres contrôlés (inspectés) et mesurés employant la surveillance externe

Les paramètres **contrôlés**(inspectés) et mesurés employant la surveillance externe incluent :

- Endroit des canalisations : Pour qu'une canalisation puisse être inspectée, son endroit devra être déterminé.
- Etat du revêtement externe de la canalisation : un endommagement du revêtement externe peut avoir comme conséquence l'exposition de la ligne à la corrosion externe
- Système de protection cathodique : l'inspection du système de protection cathodique est incluse dans l'évaluation de l'état d'une canalisation. Une telle inspection implique habituellement la prise des mesures de potentiel aux endroits spécifiques ou suivant la ligne entière.
- Détection et localisation des fuites : la détection précoce des fuites de gaz ou de pétrole est essentielle pour éviter ou minimiser les dommages.

Équipement et techniques de surveillance [2]

L'équipement utilisé pour accomplir des tâches d'inspection et les utilisations principales de cet équipement sont comme suit :

- 1- Magnéto compteur: c'est un instrument passif qui détecte les champs normaux ou magnétiques autour des canalisations ferreuses. Il est principalement employé pour localiser et dépister des canalisations.
- 2- Acoustique : ce sont des instruments actifs qui émettent, reçoivent et mesurent les ondes saines. Les applications typiques incluent le sonar latéral de balayage qui sont principalement employées pour l'endroit et le cheminement des canalisations. Les enquêtes latérales de sonar de balayage fournissent des informations sur le milieu dans lequel se trouve une canalisation telle que l'état d'enterrement des canalisations
- 3- Système d'optique: ceux-ci comprennent le contact visuel direct par les yeux et le contact indirect par les appareils photos et les vidéos. Les deux contacts visuels directs et indirects peuvent être sensiblement affectés par l'environnement, tels que les états d'éclairage

III.5 Propriétés du matériau dans l'évaluation du défaut [3]

Les principales propriétés du matériau qui caractérisent la résistance d'une structure défectueuse à la rupture ou à la déformation plastique sont :

- Limite élastique,
- Charge de rupture,
- Allongement
- dureté

CHAPITRE IV

METHODES DE CONTROLES NON DESTRUCTIFS STANDARDS

Les méthodes de contrôle non-destructif (CND) permettent de tester l'état d'intégrité de structures industrielles sans les dégrader. Différentes techniques sont disponibles : ressuage, magnétoscopie, ultrasons, radiographie, etc. Ces méthodes peuvent être appliquées soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation des dites structures. De nombreuses industries y font appel : aéronautique, aérospatiale, transport, énergie, sidérurgie, génie civil, etc. Différents niveaux de contrôle existent, permettant de détecter, localiser, identifier et dimensionner des défauts sans altérer les propriétés d'usage des structures contrôlées.

IV.1 Objet des CND

La présence de défauts internes et externes affecte de nombreux pipelines de transport d'hydrocarbures. Ils sont la cause principale de fuites et de ruptures de la canalisation, se traduisant parfois par des dégâts catastrophiques (dégâts humains, pollution du milieu naturel, frais supplémentaires de réparation, arrêt prolongé, etc.).

Les CND sont appliqués pour détecter les défauts qui peuvent générer des risques

- Physiques (explosion, incendie, émanations,...)
- Economiques (dégâts, perte de production,...)

IV.2 Définition

Examen de matériau qui, sans en modifier l'état de façon permanente, génère une information sur la présence ou les caractéristiques d'éventuels défauts (détection, dimensionnement, localisation et caractérisation de défauts)

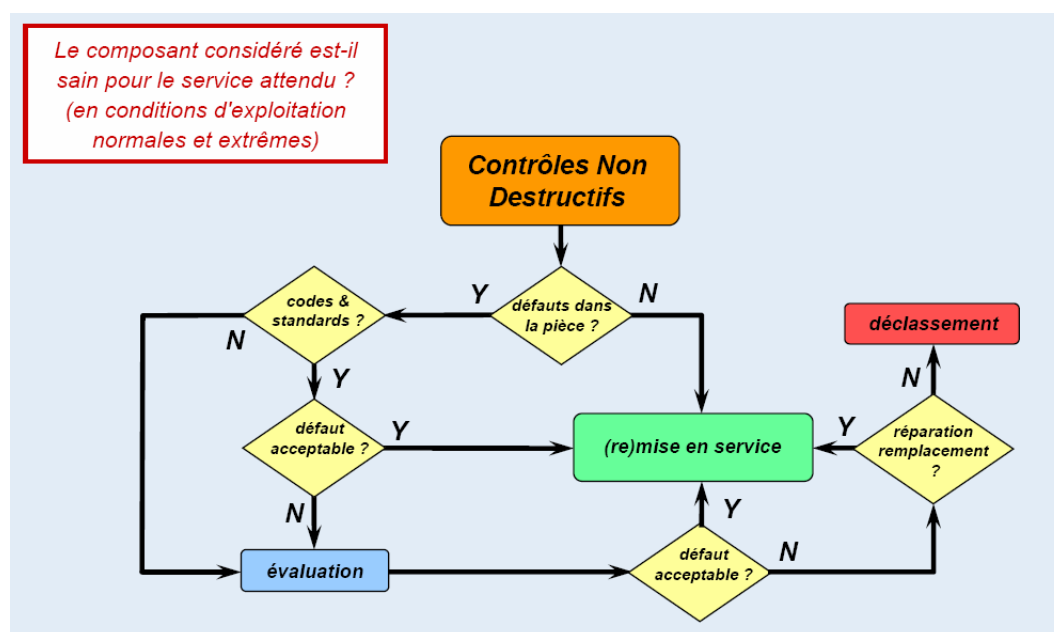


Figure 6 : Démarche à suivre pour le contrôle non destructif

IV.3 Domaines d'application des CND

Les CND sont appliqués dans les cas suivants :

- Equipements coûteux et/ou dangereux
- En cours de fabrication, à la mise en service, en exploitation
- Secteurs industriels : tout type d'appareil ou structure comme par exemple: tuyauteries d'unité, canalisations enterrées, appareils à pression, condenseurs, échangeurs, ballons, réservoirs, bacs de stockage

IV.4 Choix de méthode de CND [4]

1. Lorsque la surface est accessible les méthodes suivantes sont applicables:

A la recherche de défauts

- . Contrôle visuel
- . Ressuage
- . Magnétoscopie
- . Contrôle par ultrasons
- . Contrôle par radiographie

A la détection, la quantification et le dimensionnement de défauts

- . Mesure d'épaisseur par ultrasons
- . Expertise ultrasonique manuelle ou avec un système d'imagerie
- . Contrôle par MFL (technique de fuite de flux magnétique).

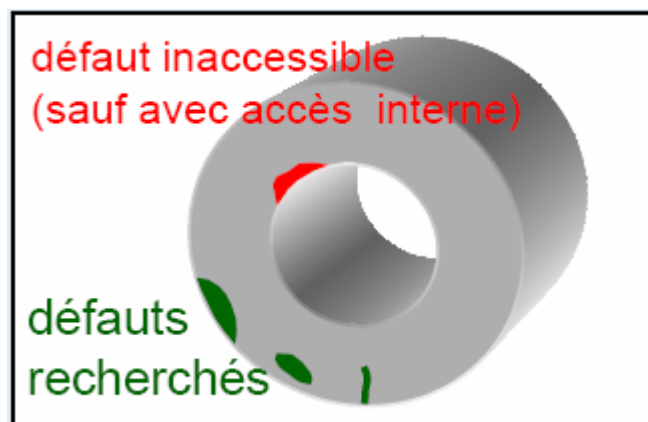


Figure 7 : Défauts recherchés lorsque la surface est accessible

2. Lorsque la surface est inaccessible, les méthodes suivantes sont applicables :

- Contrôle par radiographie
- Contrôle par ondes ultrasoniques guidées

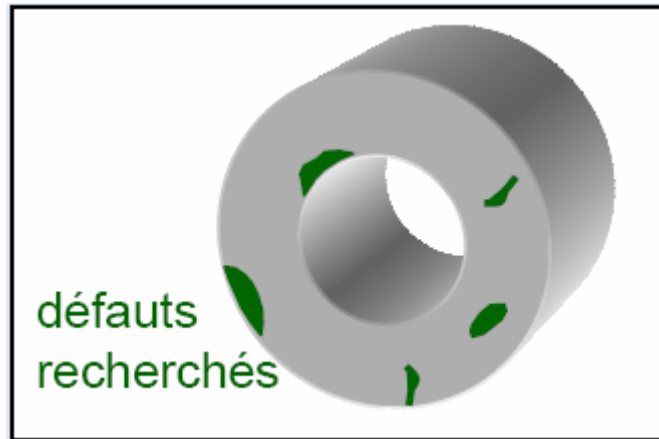


Figure 8 : Défauts recherchés lorsque la surface est inaccessible

IV.5 Examen visuel [5]



Figure 9 : Outillages de contrôle visuel

Principe :

Observation de la surface apparente de la pièce

Lecture directe : pas d'interruption du parcours optique entre
l'œil et la pièce examinée

Lecture indirecte : interruption du parcours optique

Lecture assistée : utilisation d'accessoires



Equipements

Accessoires : éclairage, miroir, loupe, boroscope, filtre,...

Boroscope & endoscope

Mécanismes divers

Photo, video,...

IV.6 Contrôle par ressuage



Figure 10 : Application du révélateur sur une pièce mécanique

Définition

Cette méthode est un moyen de détection des discontinuités et défauts débouchant en surface telles que : fissures, criques, soufflures, caniveaux etc.

Produits utilisés :

Les produits utilisés sont :

- Nettoyant
- Pénétrant
- Révélateur

Présentés dans des flacons atomiseurs (produits aérosols)

Préparation des surfaces :

Les surfaces à examiner (surfaces adjacentes d'une largeur de 1 pouce au moins de part et d'autre de la soudure) devront être propres et exemptes de toutes traces de graisses, d'oxyde ou de toute irrégularité susceptible de gêner l'interprétation. Le nettoyage se fait par brossage et meulage.

Technique Opératoire :

Nettoyage :

Le nettoyant est appliqué sur les surfaces à examiner en le pulvérisant abondamment ; laisser sécher et essuyer avec un chiffon non pelucheux, attendre 5min avant l'application du pénétrant.

Application du Pénétrant :

Après agitation de la bombe, le pénétrant sera appliqué également par pulvérisation sur les surfaces à examiner et conforme à la méthode suivant les exigences du code. La durée de pénétration sera au moins de 5 mn et de 30mn au plus. Pour une bonne application du pénétrant, veiller à ce que les surfaces à examiner soient maintenues à une température comprise entre 16 et 50 °C.

Elimination de l'excès de pénétrant :

L'excès de pénétrant en surface est éliminé au moyen d'un chiffon propre non pelucheux, il ne faudrait éliminer que le pénétrant qui se trouve en surface, il ne devrait plus rester de traces visibles. L'usage des solvants est interdit.

Séchage du pénétrant :

Le séchage se fait à l'air ambiant.

Application du Révélateur :

Pour appliquer le révélateur, agiter la bombe avant l'emploi, vaporiser une couche fine et homogène sur les parties a examiné en se plaçant à une distance d'environ 20cm de la pièce a contrôler. Un excès de révélateur pourrait masquer les défauts les plus fins, une insuffisance peut aussi ne pas révéler des discontinuités. La durée de révélation est de 7mn au moins.

Un soin particulier doit être assuré au film du révélateur, ce dernier étant fragile et facilement en dommageable.

Les surfaces à contrôler sont examinées dès que le temps de révélation est apuré, les indications apparaissant en rouge sur fond blanc seront notées et évaluées.

Le contrôle devra être effectué par un agent certifié niveau 2.

Interprétation :

Les défauts décelés seront interprétés selon le code de référence.

IV.7 Contrôle radiographique

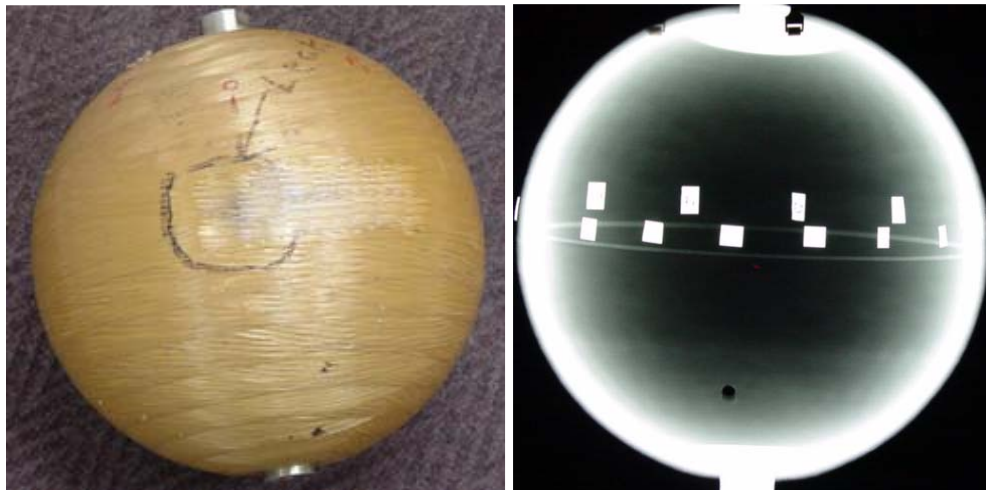


Figure 11 : Examen radiographique

Définition

Cette méthode est un moyen de détection, localisation et dimensionnement des défauts de surface et volumétriques (défauts de métal, corrosion et défauts de soudure).

Qualification du Personnel :

1- Radiométallographe pour :

- Prise de clichés
- Développement

2- Contrôleur certifié niveau 2 pour :

- Interprétation des films radiographiques

Matériel utilisé :

- Source de rayonnement :
- Film radiographique
- Matériel d'examen des films radiographiques : Négatoscope et densitomètre étalonné.

Technique Opératoire :

Selon le cas on utilisera les méthodes de prise de clichés suivantes :

- En double paroi film interne, source externe
- En panoramique (source centrée), film externe, source interne
- En ellipse pour les diamètres inférieurs à 2'' ½ avec deux (02) expositions à 90°.

Calcul du temps d'exposition :

Les opérateurs disposent des documents, abaques et de toutes informations qui leur permettent de calculer le temps d'exposition avec l'une des méthodes suivantes :

- ◆ Formule
- ◆ Règle à calculer (anciennement)
- ◆ Abaque

Densité :

La densité des radiogrammes doit être comprise :

- a) Pour la technique simple : $2 < D < 4$
- b) Pour la technique double film : $1,3 < D < 2$

Flou géométrique :

Le flou géométrique sera calculé selon la formule :

$$U_g = F \times d / D$$

F : dimension de la source (mm)

d : distance source de radiation au film, in

D : plus grande distance défaut – film (épaisseur),in

Sensibilité :

La sensibilité est calculée suivant la formule suivante :

$$S \% = d \times 100 / t$$

d : Le plus petit diamètre du fil visible

t : épaisseur à examiner

Identification des radiogrammes :

Les radiogrammes portent les indications suivantes :

- Numéro du joint
- Numéro du spool ou numéro de ligne
- Repère du soudeur

- Lettre R pour la réparation
 - Lettre C pour la coupe
 - N° d'affaire.
- La vérification pour la continuité des films se fera à l'aide d'une bande chiffrée, le recouvrement des films sera compris entre 4 et 5 cm.
 - La lettre B (en plomb) sera placée derrière le film pour le contrôle des rayonnements rétro diffusés.

Développement :

Tableau 3 : Différents paramètres de développement des films radiographiques

Désignation	Température	Durée
Révéléateur	20° ± 1°	5 mn
Bain d'arrêt	20° ± 2°	2 mn
Fixateur	20° ± 1°	10 mn
Lavage	20° ± 3°	20 mn

Tous les radiogrammes devront être exempts de tous défauts physiques ou chimiques susceptibles de gêner l'interprétation.

Règles de Sécurité :

La prise de clichés est réalisée dans la mesure du possible en dehors des heures du travail ou la nuit. Si la prise de clichés doit se réaliser dans une zone voisine occupée en même temps par des travailleurs, l'opérateur radiographe devra travailler selon les directives de la personne compétente.

Etablissement du Procès Verbal :

Chaque film interprété devra faire l'objet d'une notation sur un procès verbal d'interprétation, comme suit : (voir spécimen du procès verbal d'interprétation radiographique joint en annexe).

- Le code de référence
- Le numéro de l'affaire
- La référence exacte de l'ouvrage
- Le nom, la qualification et le visa du contrôleur et de la société
- Date du contrôle
- Le relevé des indications
- Décision finale :
 - A : accepté
 - R : à réparer
 - C : à couper
 - NX : Reshoot
 - RX : Film contrôlé
 - EX : Extension

Les critères d'acceptation seront conformes au code de référence.

IV.8 Contrôle par magnétoscopie

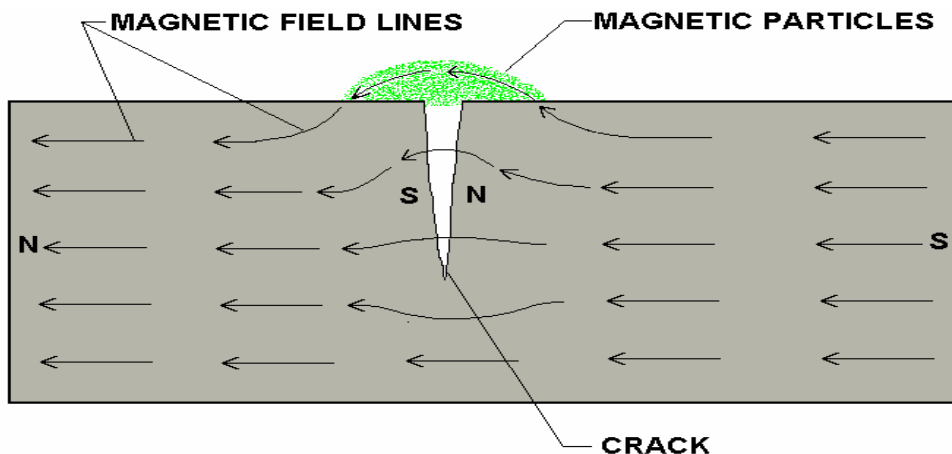


Figure 12 : Principe du contrôle magnétoscopique

Définition

Cette méthode est un moyen de détection des discontinuités et défauts débouchant en surface ferromagnétique qui peuvent exister dans la soudure, et la zone thermiquement affectée.

Etendue du contrôle:

Pourcentage

Qualification du personnel:

Le contrôle est effectué par un contrôleur certifié niv.2 :

Technique opératoire :

1. *Technique de magnétisation (aimantation directe) :*

La magnétisation est obtenue en pressant des électrodes sur la surface de la zone à examiner. Afin d'éviter la production d'arc, un interrupteur doit être monté dans la poignée, celui ci ne doit être manipuler seulement après que les électrodes aient été convenablement positionnées dans la zone à examiner.

2. *Courant de magnétisation :*

On utilisera un courant continu ou redressé avec une intensité de :

- 100 à 125 Ampères / Pouce d'espace entre électrodes ayant un diamètre supérieur à 19,05mm
- 90 à 110 Ampères / Pouce d'espace entre électrode ayant un diamètre inférieur à 19,05mm.

3. *Distance entre électrode :*

La distance entre électrode ne dépassera pas 8'' (203,2mm) cette distance ne sera jamais inférieure à 3'' (76,2mm).

Remarque :

Les pointes des électrodes devront être conservées en bon état (nettoyage avant chaque opération).

4. *Préparation des surfaces :*

Avant chaque examen de magnétoscopique, la surface à examiner et toutes les surfaces adjacentes à 1'' (25,4mm) au moins de part et d'autre de la soudure devront être débarrassées des poussières, graisse, limaille, écaille, laitier, projection ou toute autre matière qui puisse gêner l'examen. Le nettoyage peut être réalisé à l'aide des détergents, solvant, sablage, meulage ou brossage.

5. Produits pour examen :

Selon le cas, on utilisera les produits révélateurs suivants :

- Particules ferromagnétiques humides :

L'utilisation des particules humides donnera un contraste adapté à la surface à Contrôler. La concentration des particules devra être conforme à la recommandation de la norme. La température de la préparation de la surface examinée ne devra pas dépasser 57°C (135°F).

- Particules fluorescentes :

Dans le cas où ce genre de particule devra être utilisé, l'examen s'effectuera dans les zones sombres. On utilisera pour cela la lumière noire filtrée à l'aide d'une lampe appelée « LAMPE DE WOOD » d'une intensité de 8 W/m², la source étant située à une distance de 30 cm de la pièce.

Examen et relevé :

Les critères d'acceptabilité seront conformes aux codes de référence.

Le rapport d'examen fera l'objet d'une notation de toutes les discontinuités (défauts) sur un procès verbal de contrôle magnétoscopique.

Démagnétisation

La démagnétisation est assurée en soumettant la pièce à un champ égal à celui utilisé pour sa magnétisation. Ensuite, la direction du champ est inversée de façon continue jusqu'à la ramener à zéro.

IV.9 Contrôle par ultrasons

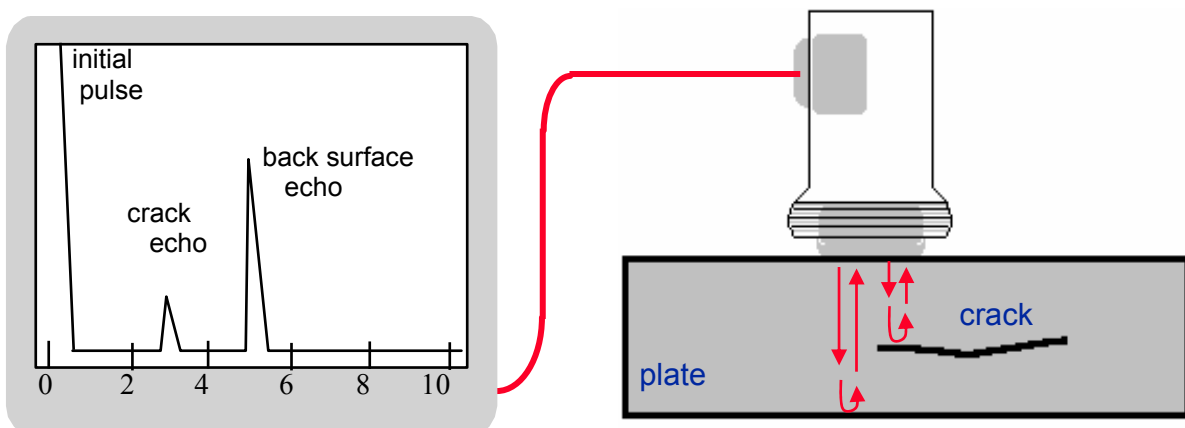


Figure 13 : Principe du contrôle ultrasonique

Définition

La méthode consiste à utiliser les ondes ultrasonores afin de détecter les défauts qui peuvent exister dans le métal, la soudure, et la zone thermiquement affectée.

Qualification du personnel :

Seuls les contrôleurs certifiés NIV.2 peuvent effectuer le contrôle par ultrasons.

Matériel utilisé :

- *L'appareil :*
 - Appareil d'impulsions échos,
 - représentation de type A compatible avec des fréquences de 2 à 4 Mhz,
 - réglable de 2dB ou 3db au minimum,
 - certificat d'étalonnage en cours de validité.
- *Les traducteurs :*
 - Traducteur droit (ondes longitudinales) pour le contrôle du métal de base.
 - Traducteur d'angle (ondes transversales) pour le contrôle de la soudure.
 - Le choix des traducteurs en fonction de l'objet à examiner.
- *Bloc d'étalonnage V1 et V2 (AFNOR 1 et 2)*
- *Cale à gradin suivant norme AFNOR*
- *Bloc de référence : IS 319-21*

Le bloc de référence sera de même nuance que l'objet à examiner pour la configuration des trous ou entaille.
- *Couplant :*

Huile – graisse – pâte etc. (Le même couplant sera utilisé pour étalonnage).
- *Matériel divers :*

Brosse – Chiffons – Réglet – marqueur etc.

Technique opératoire :

1- Vérification du matériel :

Appareil : Absence de seuil.

Verticale 5% sur 80% écran (α réel = α théorique + 2°)

2- Etalonnage :

- En ondes longitudinales : échelle suffisante pour déceler au moins un écho de fond, selon l'épaisseur.
- En ondes transversales : échelle suffisante pour au moins un parcours en bond complet, selon l'épaisseur sondée

Courbe de référence : CAD ou AVG.

- L'amplitude du trou qui répond le mieux sera réglée à 80% de la hauteur de l'écran.
- Noter l'amplitude des autres trous à amplification constante et noter cette amplification de référence.
- Si l'amplitude est en dessous de 25% de la hauteur de l'écran, effectuer une courbe fractionnée en notant l'amplification correspondante.

Cas d'utilisation d'abaque AVG.

* N° abaque

* pour le calibrage suivre les instructions du fournisseur.

3 - **Définition zone à contrôler.**

Totalité de la soudure soit :

Zone fondue.

Zone de transition.

Zone thermiquement affectée (ZAT).

4 - **Préparation des surfaces.**

Les surfaces de palpation doivent être exemptes de toute irrégularités qui pourraient nuire au libre déplacement du palpeur et à la bonne transmission des ultrasons.

Toute indication du type : caniveau – morsure – surépaisseur doit être notée en annexe sur le rapport d'examen.

5 - **Sens de palpation** :

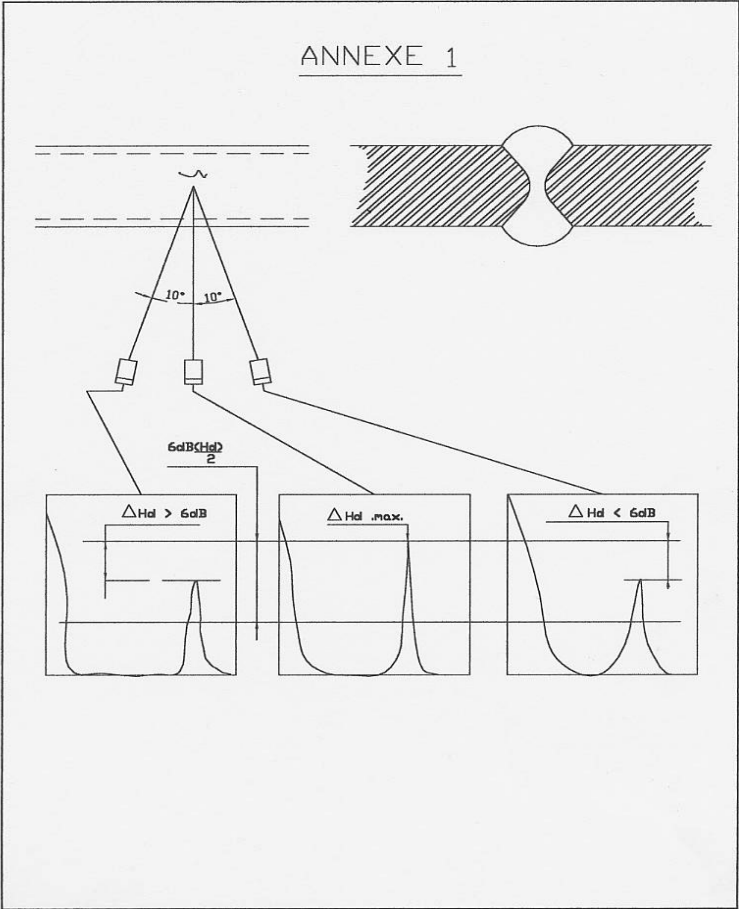
- Vitesse de palpation : 150mm/s max.
- Déplacement latéral : demi largeur.
- Longueur zone palpation : 1/2 et 1 bond.

Procès verbal

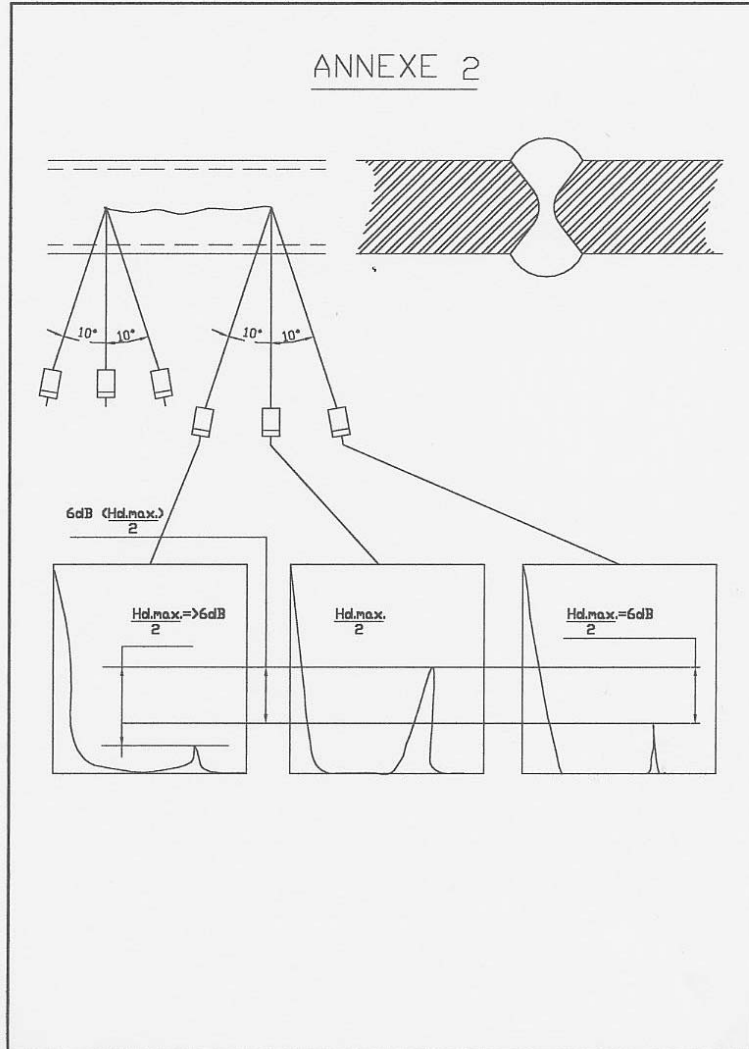
Le rapport d'examen doit fournir au moins les renseignements suivants :

- Identification client, et N° de commande
- Identification de la pièce contrôlée, en précisant la zone soumise à l'examen
- Désignation des documents utilisés
- Le mode de préparation des surfaces
- Marque, type et désignation du matériel utilisé pour le contrôle
- Les paramètres de contrôle
- Relevé des indications et les résultats d'interprétation
- La date de l'examen et le visa du contrôleur

10 - ANNEXES

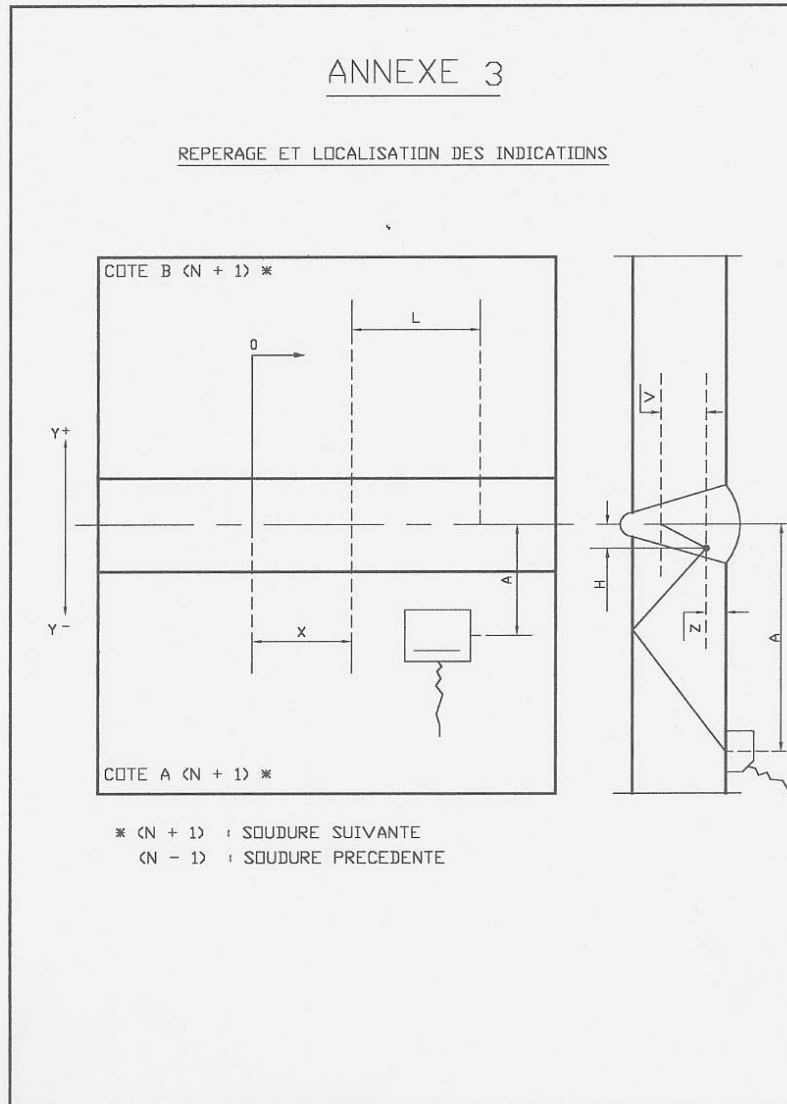


ANNEXE 2



ANNEXE 3

REPERAGE ET LOCALISATION DES INDICATIONS



CHAPITRE V

METHODES DE CONTROLE NON DESTRUCTIF SPECIFIQUES AUX CANALISATIONS

Les progrès importants dans le domaine du diagnostic en ligne des canalisations, principalement dans la conception de racleurs instrumentés (ILI-tools dans la terminologie anglo-saxonne), permettent à l'heure actuelle la détection et la localisation de pratiquement tous les défauts et de leurs dimensions. La majorité de ces outils utilisent des techniques de fuites ou de perte de flux magnétique (Magnetic flux leakage) ou de pulsations ultrasoniques. [6]

V.1 L'inspection par racleurs instrumentés

Les pipelines sont des ouvrages de transport massif de fluides (liquides, liquéfiés ou gazeux) sur de grandes distances comme sur de petites liaisons. Ils allient débit important et discrétion et confirment année après année qu'ils sont le mode le plus sûr et le plus écologique de transport des hydrocarbures, notamment.

Ceci est en particulier le cas pour vérifier l'efficacité des mesures préventives mises en œuvre pour faire face aux diverses menaces auxquelles est soumise une canalisation enterrée ou sous-marine : milieu agressif, endommagement par des tiers ou par des éléments de terrain, fluide transporté corrosif, ...

Il a donc été développé des outils qui permettent d'inspecter les pipelines de l'intérieur.

Ces outils sont appelés racleurs ou pistons. Lorsqu'ils comportent des éléments de mesure et d'enregistrement, ils sont qualifiés d'instrumentés ou d'intelligents.

V.2 Anatomie d'un racleur

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 (cf. figure 1). 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.

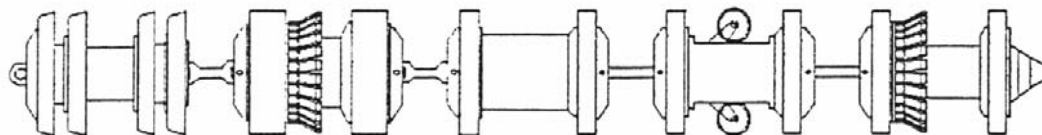


Figure 14 : Schéma type d'un racleur instrumenté

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.3 Les différents types de racleurs

Outre les racleurs dits instrumentés, il existe des racleurs sans aucun équipement de mesure qui servent, soit à nettoyer les canalisations, soit à isoler les uns des autres différents produits incompatibles. Les racleurs d'isolement, sont généralement équipés de coupelles particulières assurant à la fois leur propulsion et leur étanchéité. Les racleurs de nettoyage sont équipés de brosses, il en existe une grande variété pouvant traiter des problèmes spécifiques : élimination de paraffines, d'oxydes, de sédiments, ...

Pour ce qui est des racleurs instrumentés on distinguera plusieurs type répondant à des finalités d'inspection différentes : on trouve ainsi, principalement, des racleurs de contrôle de la géométrie des tubes, des racleurs de détection des pertes de métal, des racleurs de contrôle d'étanchéité et des racleurs spécialisés dans la recherche de fissures longitudinales.

V.4 Les technologies de mesures

Il existe un grand nombre de principes physiques utilisés pour les racleurs instrumentés. Les paragraphes ci-dessus présentent les technologies les plus courantes.

Le contrôle de géométrie

Les racleurs de contrôle de géométrie sont généralement équipés d'une couronne circulaire déformable qui s'appuie sur la face interne du pipeline. Lorsque celui-ci n'est pas parfaitement circulaire, la couronne se déforme. Cette déformation est enregistrée ainsi que la position du racleur et permet, après dépouillement, de localiser et dimensionner les déformations (ovalisation, enfoncement) du tube.

Le contrôle de l'étanchéité

La technologie la plus utilisée pour détecter les fuites éventuelles utilise un enregistrement du bruit à l'intérieur du pipeline. Cet enregistrement se fait dans une bande de fréquence caractéristique d'un écoulement de fluide sous pression à travers un orifice et permet ainsi de détecter et localiser une telle fuite.

V.5 La recherche de manques de métal

Il s'agit là de l'usage essentiel des racleurs instrumentés dans un objectif de lutte contre la corrosion. Deux grandes familles d'outils existent à l'heure actuelle s'appuyant sur deux technologies distinctes.

La fuite de flux magnétique [7]

Cette technologie s'appuie sur de puissants aimants placés dans le racleur. Le flux magnétique longitudinal ainsi généré circule dans la paroi du tube entre les deux pôles de l'aimant. Il est calibré de sorte à saturer celle-ci et qu'une partie de ce flux circule dans le fluide et à l'extérieur du tube. Des capteurs sont placés contre la paroi du tube et baignent dans ce flux. Lorsqu'un manque de métal est présent dans la paroi des tubes, le flux magnétique doit s'échapper un peu plus de la paroi pour pouvoir circuler et les capteurs réagissent à cette augmentation de la fuite de flux magnétique (Magnetic Flux Leakage ou MFL).

Réagissant à des évolutions de signaux magnétiques, cette technologie donne un dimensionnement relatif des pertes de métal par rapport à l'épaisseur supposée des tubes.

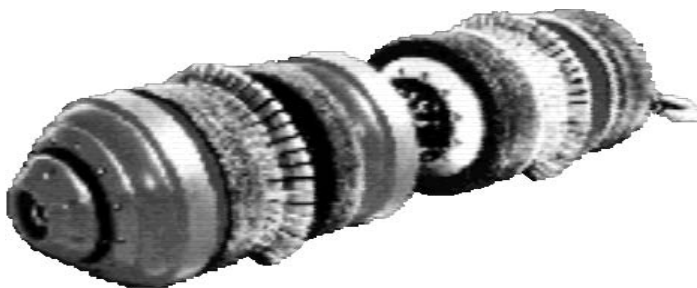


Figure 15 : Racleur MFL

Les ultrasons [8]

Cette technologie utilise les temps de parcours d'une onde ultrasonore (perpendiculaire à la surface des tubes) dans le fluide transporté et le métal des tubes pour évaluer la distance entre

le capteur et les faces internes et externes des tubes sur lesquelles l'onde se réfléchit partiellement.

La différence de ces deux distances permet d'avoir une lecture directe de l'épaisseur du tube mais elle est très sensible à la propreté interne des tubes.

Cette technologie nécessite que le fluide transporté puisse transmettre l'onde ultrasonore. Elle est donc inapplicable en milieu gazeux. Ainsi, pour inspecter un pipeline de gaz avec de tels outils, il est nécessaire d'introduire un batch de liquide (eau ou hydrocarbure) dans le pipeline ce qui peut poser de très importants problèmes d'évacuation de ce liquide et de séchage des conduites.

Des technologies existent permettant un couplage dit sec pour utiliser les ultrasons en milieu gazeux, mais elles sont complexes, fragiles et relativement peu employées.

V.6 La recherche de fissures longitudinales

Ce domaine d'application des racleurs est de développement récent. On retrouve là encore les technologies MFL et ultrasons. Les fissures longitudinales sont des défauts plans, très étroits et qui correspondent à des enlèvements de matière très faibles. Elles sont de ce fait invisibles pour les racleurs classiques de recherche de pertes de métal.

Le MFL transverse

Pour détecter les fissures longitudinales on utilise des champs magnétiques orientés perpendiculairement à l'axe des tubes de façon à ce que le flux magnétique « voit » le flanc des fissures. Celles-ci provoquent alors des réductions suffisantes de la section de la paroi métallique pour générer une augmentation détectable de la fuite du flux magnétique. Ces outils permettent actuellement la détection des grandes fissures ou des fissures très ouvertes (espacement important entre les deux flancs de fissure).

Les ultrasons

Le faisceau ultrasonore utilisé pour la recherche de fissures est incliné ce qui lui permet de se réfléchir sur les faces des fissures. L'analyse des échos ainsi générés permet de localiser et mesurer les fissures. Ces outils sont capables de détecter et dimensionner de petits défauts mais nécessitent une grande redondance. Le dépouillement en est alors particulièrement long et coûteux.

Pour les mêmes raisons que précédemment, cette technologie est d'une application très complexe dans les pipelines transportant du gaz.

Toutefois une technologie spécifique est en cours de développement qui utilise des ondes ultrasonores induites dans le métal des tubes par un champ électromagnétique. Cette technologie sera utilisable en milieu gazeux.

V.7 Emploi des racleurs pour la maintenance des pipelines

En premier lieu il est important de noter qu'un pipeline doit disposer d'équipements particuliers pour pouvoir être inspecté par des racleurs instrumentés. Il s'agit notamment d'équipements permettant le lancement et la réception des racleurs. Ces « gares de racleur » peuvent parfois être fournies temporairement par des prestataires extérieurs. Il faut aussi que les rayons des coudes présents dans le pipeline permettent le passage du racleur. Cette condition n'est pas toujours remplie dans des réseaux construits avant l'existence de racleurs instrumentés.

Ces racleurs instrumentés regroupent donc un ensemble d'outils aptes à détecter la plupart des défauts susceptibles d'être présents à la surface (interne ou externe) des pipelines. De plus ce sont des outils d'inspection qui permettent de couvrir l'intégralité de la surface d'une canalisation.

Après l'inspection de sa conduite par un racleur, un exploitant de réseau dispose donc d'un ensemble de signaux correspondant à des défauts localisés et dimensionnés, dans les limites des capacités de l'outil employé bien sûr.

Dans un premier temps, un certain nombre de ces défauts (cf. figure 3) pourront apparaître comme inacceptables au regard des conditions d'exploitation : ils seront réparés sans délais ou bien les conditions d'exploitation seront adaptées, au moins temporairement.

L'ensemble des signaux fournit par ailleurs une indication de l'efficacité des moyens de prévention mis en place. Des évolutions adaptées pourront être décidées si nécessaire.

Enfin, un certain nombre de défauts seront laissés en ligne car ils ne mettent pas en danger l'intégrité de la ligne. Cependant, la modélisation de la progression de ces défauts permettra d'évaluer leur durée de vie potentielle et un arbitrage devra alors être pris entre la réparation anticipée et la nécessité de refaire une inspection de la ligne avant le délai calculé. Il peut ainsi être intéressant de réparer à l'avance des défauts acceptables en l'état si cela permet de repousser de quelques années une coûteuse inspection par racleur.

V.8 Racleurs de géométrie

Des racleurs de géométrie sont employés pour mesurer la géométrie interne de pipe afin de détecter des imperfections telles que l'ovalité ou les bosselures et assurer que la canalisation a une pleine ouverture ronde sur toute sa longueur, ainsi garantir le passage sûr des outils d'inspection. L'inspection doit déterminer l'endroit exact de n'importe quel point où le diamètre de la canalisation est moins qu'une dimension prédéterminée, et de l'importance de la réduction.

Les racleurs de géométrie entrent dans deux catégories générales : mécanique et électronique. Les caractéristiques principales des deux types peuvent être décrites comme suit :

Racleurs mécaniques de géométrie

L'outil mécanique le plus répandu est le racleur calibre. Il a une rangée de leviers montés sur une tasse arrière et reliés à un dispositif d'enregistrement sur le corps.

Pendant que le racleur parcourt la canalisation, les débattements des leviers sont enregistrés.

Les résultats peuvent révéler des détails tels que la pénétration de soudure de périmètre, l'ovalité du pipe, et les bosselures.

Racleurs électroniques de géométrie

Ils sont plus sophistiqués que les outils mécaniques. Ils enregistrent, analysent et montrent les données d'une inspection en utilisant l'instrumentation électronique. En conséquence, les données peuvent être manoeuvrées pour augmenter considérablement l'information d'une seule course de canalisation. Ce dispositif est avantageux sur les outils mécaniques conventionnels par le fait que les données d'inspection sont enregistrées sur un diagramme et ne peuvent pas être manoeuvrées après la course.

Les sondes sont des outils électroniques différents. Certains utilisent les mêmes sondes que les outils mécaniques, alors que d'autres utilisent diverses sondes électroniques. Un racleur électromagnétique n'exige pas le contact avec la paroi du pipe. Il émet un champ électromagnétique qui est affecté par la distance relative de n'importe quel matériel ferreux (exp : la paroi du pipe). Les changements du champ dû à toutes les réductions de diamètre du pipe sont enregistrés et plus tard analysés et interprétés.

Il convient à noter que les références passées en revue en liaison avec des outils de la géométrie ne donnent pas une indication claire de leur exactitude, par exemple en ce qui

concerne la détection et le classement par taille des bosselures. Cependant, l'impression est donnée que l'exécution et les possibilités de ces outils sont généralement proportionnées.

Evaluation du revêtement et de l'enterrement

L'outil est basé sur une méthode d'interrogation de neutron qui fournit le pouvoir de pénétration sur le revêtement et l'environnement qui entoure la paroi du pipe. En comparaison des techniques courantes pour l'évaluation de l'enterrement de canalisation et des conditions de revêtement, un tel système a les avantages suivants :

- le racleur ne peut pas dériver de la trajectoire de la canalisation
- la qualité et la synchronisation de l'inspection n'est pas affectée par la visibilité ou conditions atmosphériques

CHAPITRE VI

AVANTAGES, INCONVENIENTS ET LIMITES DES METHODES DE CND

VI.1 Le contrôle visuel

Avantages

- Utile pour vérifier la présence des discontinuités extérieures.
- Simple
- Rapide
- Facile à appliquer
- N'exige aucun équipement spécial autre que la bonne vue, parfois aidée par l'équipement simple
- Peu coûteuse.

Inconvénients et limitations.

- Besoin d'expérience et de connaissance considérables d'inspection dans beaucoup de différents secteurs.
- Moins fiable pour la détection des petites discontinuités
- La surface doit être propre.
- Détection limitée aux défauts visibles
- Dimensionnement incertain en longueur, pas de dimensionnement en profondeur
- Pas d'enregistrement (sauf par photo ou video)

VI.2 Le contrôle par ressuage

Avantages

- Relativement peu coûteux
- Raisonnablement rapide.
- L'équipement est généralement plus simple et moins coûteux que cela pour la plupart des autres méthodes de CND (NDT).

Inconvénients et limitations.

- Limité pour la détection des discontinuités qui sont ouvertes en surface.
- La rugosité extérieure de la surface à inspecter peut affecter les résultats d'inspection.
- Les surfaces extrêmement approximatives ou poreuses peuvent produire des indications fausses.
- Quelques substances dans les pénétrants peuvent affecter les matériaux structuraux.
- Si les pénétrants sont corrosifs au matériel étant inspecté, ils devraient être évités.

VI.3 Le contrôle radiographique

Avantages

- L'inspection détecte les anomalies externes et internes
- Possibilité de stockage et enregistrement des données d'inspection pour de longues périodes
- Pratique pour la détection, le dimensionnement et la localisation des défauts internes

Inconvénients et limitations.

- La source présente un risque potentiel de rayonnement pour le personnel.
- Coûteuse (l'équipement, les équipements, et les programmes radiographiques de sûreté sont chers), et prend relativement du temps.
- Les discontinuités doivent être favorablement alignées avec le faisceau de rayonnement
- Pour certains cas de contrôle, l'accessibilité aux deux faces à inspecter est exigée.

VI.4 Le contrôle par magnétoscopie

Avantages

- Moyens sensibles pour détecter la petite et peu profonde surface ou les discontinuités proches de la surface en matériaux ferromagnétiques.
- L'inspection est considérablement moins chère que l'inspection radiographique ou ultrasonique
- Plus rapide et plus économique que l'inspection par ressuage
- Comparé à l'inspection par ressuage, l'inspection par magnétoscopie a l'avantage d'indiquer des fissures remplies de matériel étranger.

Inconvénients et limitations.

- Limitée au matériel ferromagnétique.
- Pour de bons résultats, le champ magnétique doit être dans une direction qui arrêtera la direction de la discontinuité.
- De grands courants parfois sont exigés pour les surfaces très grandes.
- Le soin est nécessaire pour éviter le chauffage et la brûlure locaux des surfaces aux points du contact électrique.

- La démagnétisation est parfois nécessaire après inspection.
- Les discontinuités doivent être ouvertes de surface ou doivent être dans la sous-surface proche pour créer la fuite de flux de la force suffisante pour accumuler les particules magnétiques.
- Si une discontinuité est parallèlement orientée aux lignes de la force, elle sera essentiellement indétectable.

VI.5 Le contrôle par ultrasons

Avantages

- Ce contrôle fournit des indications presque instantanées sur les discontinuités.
- Il n'est pas dangereux au personnel,
- Il n'a pas des effets nuisibles sur des matériaux.
- La méthode est très précise.
- Elle a la puissance pénétrante supérieure permettant la détection des discontinuités profondément dans la paroi,
- Elle est extrêmement sensible permettant la détection de petites discontinuités,
- Elle fournit la bonne exactitude en déterminant la taille, la position, et la forme des discontinuités.

Inconvénients et limitations.

- L'opération manuelle et l'interprétation des résultats exigent les techniciens expérimentés.
- Même avec le personnel expérimenté, les normes de référence sont nécessaires pour calibrer l'équipement et pour caractériser des discontinuités.
- Il est impossible ou difficile d'inspecter les surfaces qui sont rugueuses, irrégulières dans la forme, très petites, ou non homogènes.

VI.6 Les racleurs magnétiques

Avantages

- Bon marché
- Aucune sensibilité au fluide
- Aucune sensibilité aux stratifications
- Différentiation entre le défaut interne et externe

- Sensibilité aux débris non métalliques
- Peut être utilisé pour les longues distances
- Longueur du racleur modérée
- Précis pour l'évaluation de défaut
- Assurance dans les courbures
- Bon reporting
- Nettoyage exigé modéré
- Les racleurs MFL peuvent être utilisés pour les canalisations véhiculant du liquide ou du gaz,
- Les racleurs magnétiques sont meilleurs pour le cas des petites et profondes piqûres de corrosion qui peuvent être manqués par les différentes impulsions ultrasoniques.
- les racleurs magnétiques sont capables de distinguer les dispositifs internes et externes des canalisations.
- Le racleur MFL n'est pas essentiellement influencé par la vitesse
- le racleur MFL n'est pas affecté par des changements d'épaisseur de paroi

Inconvénients et limitations.

- le racleur MFL a des limitations dans les parois plus épaisses
- Il est difficile détecter les défauts longitudinales par MFL dû au principe physique utilisé. Les pipes inspectées sont magnétisées dans une direction longitudinale par le racleur et donc le flux magnétique passe le défaut sans n'importe quelle déviation.
- la technique de MFL n'est pas habituellement sensible aux fissures, en particulier ceux qui sont alignés avec le champ magnétique.
- Coût élevé
- Sensibilité limitée aux défauts peu profonds
- Limitation de la température
- Imprécis pour l'évaluation de défaut
- Aucune sensibilité près de la soudure
- Aucune différenciation entre les défauts internes et externes
- Sensibilité élevée aux débris métalliques
- Limité dans les épaisseurs
- Pas de rapport sur site
- Aucune assurance dans les courbures

VI.7 Les racleurs ultrasoniques

Avantages

- Coût modéré
- Différentiation entre le défaut interne et externe
- Très précis pour l'évaluation de défaut
- Aucune limitation de l'épaisseur
- Aucune sensibilité aux débris métalliques
- La sensibilité près de la soudure
- Rapport sur site
- Sensibilité aux défauts peu profonds
- En termes d'exactitude des profondeurs de défaut, les racleurs ultrasons sont meilleurs que les racleurs magnétiques.
- les racleurs ultrasoniques sont capables de distinguer les dispositifs internes et externes des canalisations.
- les racleurs ultrasoniques peuvent être plus précis dus à leurs possibilités de mesure.
- les outils ultrasoniques sont seulement influencés par vitesse dans la mesure où la fréquence d'impulsion est fixe, ainsi la vitesse déterminera la distance entre les lectures

Inconvénients et limitations.

- Limité aux pipes véhiculant des liquides
- Sensibilité aux stratifications
- Ne peut pas être utilisé pour les longues distances
- Aucune assurance dans les courbures
- Sensibilité aux débris non métalliques
- Longueur du racleur importante
- Niveau élevé du nettoyage exigé
- Expérience professionnelle limitée
- Limitation de la température
- Peut manquer de petits défauts
- Les racleurs ultrasoniques sont habituellement limités pour être utilisés pour les canalisations véhiculant des liquides seulement, parce que l'impulsion ultrasonique se propage seulement dans un liquide homogène. Cette limitation a été récemment

surmontée en utilisant deux racleurs conventionnels dans une canalisation de gaz entre lesquels un bouchon liquide (habituellement un gel) qui assure la propagation des ondes ultrasoniques.

- les impulsions ultrasoniques peuvent manquer les petites et profondes piqûres de corrosion
- les ultrasons ont des limitations dans les parois plus minces
- ils ne peuvent pas identifier des fissures orientées dans une direction radiale (parallèle au signal)
- ne peuvent détecter que les fissures (ou plutôt décollement) dans une direction circulaire et longitudinale si la taille de défaut est supérieure à 5mm.
- Le problème avec les racleurs ultrasoniques intelligents est que les capteurs sont placés perpendiculairement au mur de pipe et qu'une technique prometteuse serait développer les porteurs de sonde qui permettent au faisceau ultrasonique d'entrer dans le mur de pipe sous différents angles. Un tel racleur, employant les faisceaux inclinés serait capable de détecter et de mesurer des fissures en n'importe quelle position. Ces types de racleurs sont toujours en développement.

CHAPITRE VII

PROCEDURE D'INSPECTION DES CANALISATIONS DANS LE CHAMP DE HASSI MESSAOUD

VII.1 Plan de suivi et contrôle [9], [10]

Le plan de suivi et contrôle de dégradation des canalisations dans le champ de Hassi Messaoud est une démarche désigné par les initiales **P P D C A** qui indiquent les phases essentielles du plan .

- **Phase Préparation** : dans cette phase tous les travaux préparatifs sont réalisés, Il s'agit de l'établissement d'un système de classification, la collecte des différents dessins de construction, la collecte des différentes données techniques, l'élaboration des dessins adaptés aux besoins de l'inspection et la définition les points réguliers d'inspection sur le piping .
- **Phase plan** : Dans cette phase, se programme les travaux de contrôle à réaliser en deux modes d'inspection (On Stream Inspection et Shut Down Inspection) et on définit la méthode de contrôle pour chaque point régulier d'inspection.
- **Phase Do** : Dans la phase exécution (**Do**) on réalise l'ensemble des contrôles suivant un programme établi.
- **Phase Check** : c'est la phase d'interprétation des résultats, de comparaison des résultats avec les résultats des inspections précédentes et d'évaluation des endommagements (vitesse de corrosion, perte d'épaisseur ...).
- **Phase plan** : Dans la dernière phase (Action), les recommandations sont faites et les instructions sont données pour remédier aux situations jugées critiques.

PHASE DE PREPARATION

La collecte de la documentation technique

Il s'agit de collecter tous documents qui peuvent offrir des informations techniques sur l'installation et ses équipements.

Les données techniques :

Les données techniques sont nécessaires pour un choix correct des points à inspecter sur un pipe qui dépendent de la nature des sollicitations appliquées à ce point et aussi de sa conception.

- les données de service
 - Nature de fluide
 - Température de service
 - Pression de service
 - Les débits

- Les données d'étude
 - Pression de calcul
 - Température de calcul
 - Pression d'épreuve hydrostatique
 - Pression d'épreuve pneumatique
 - Epaisseurs
 - Surépaisseur de corrosion
 - Epaisseur de calorifugeage

 - Les spécifications des matériaux
 - Nuance d'acier (corps, fonds, tubulures, brides, etc...)
 - Traitement thermique et thermochimique
 - Caractéristiques des tubulures,
 - Les conditions de fabrications
 - Codes et références
 - Inspection
 - Stabilisation
 - Radiographie
 - Autres contrôles non destructifs
 - Calorifugeage

Plans et dessins :

Collecte et mise à jour des :

- Plans P F D (Process Flow Diagram) :
- Plans P I D (Piping Instrument Diagram) :
- Plans isométriques des linges

Etablissement du système de classification

Diviser l'unité en plusieurs sections de telle sorte que Le système de classification permet de mieux gérer la fonction inspection et suivi de la corrosion (dans la majorité des cas on peut conserver le système donné par le design) .

Délimitation du champ de contrôle :

Pour des raisons économiques et afin d'optimiser l'investissement en matière de suivi et d'inspection, on procède à une sélection des sections à contrôler jugés stratégiques .

Critères de classification

Les sections données sous forme de PFD (AS BULT) peuvent être divisées en sous sections en fonction des critères suivants :

- Conditions de service (Pression, Température, Débit).
- Nature et composition des fluides véhiculés.
- La fonction accomplie par chaque équipement et les types des effluents entrant et sortant de ce dernier.

Index de lignes

Généralement, l'index de lignes est un document fourni par le constructeur. Dans le cas d'indisponibilité de ce document il est nécessaire de le reproduire à partir des informations disponibles dans les autres documents et plans (spécialement les plans PID et PFD).

Par l'index de ligne on doit identifier chaque ligne par :

- son code dans le plan PID
- Le fluide véhiculé
- La provenance et la destination du fluide
- Le diamètre et la classe de la conduite
- La température et la pression de service
- La nature du calorifugeage
- Instrumentation et éléments de commande installés sur la conduite
- Et enfin, un numéro de dessin qu'on associe à la ligne dans le système de classification.

Etablissement des dessins d'inspection

Le dessin adapté au besoin du suivi est le document de base sur le quel on va enregistrer:

- Les observations, suite aux contrôles visuels ;
- Les résultats des mesures effectuées ;
- Les recommandations et les suggestions fournies.

Dessin d'inspection des lignes:

Ils sont préparés à partir des plans isométriques des lignes ou reproduits sur site en cas d'indisponibilité de ces derniers.

Selon le besoin de l'inspection, un plan isométrique peut être décomposé en deux ou trois dessins, comme il peut regrouper plusieurs plans.

Il est indispensable de mentionner sur le dessin d'inspection les items suivants :

- Le numéro de la section.
- Le numéro de ligne.
- L'orientation.
- Les limites du dessin.
- Désignation des items reliés à la ligne.
- Les types de vannes.
- Les instruments de mesure.
- Les dimensions (ligne, réduction).
- Les supports.

PHASE DE PLANIFICATION

L'objectif visé dans cette phase, est d'optimiser la procédure de travail et de rationaliser les choix sur le plan technologique et organisationnel afin d'aboutir à une planification efficace qui permet de mieux gérer la fonction suivi de l'état des canalisations.

Définition des Points Réguliers d'Inspection (RIP)

La définition des points réguliers d'inspection RIP's (Regular Inspection Points) se caractérise par la mise en évidence des points critiques à contrôler d'une façon périodique (les mêmes mesures sont répétées sur les mêmes points périodiquement).

Paramètre de choix des points :

Les RIP sont définis sur site Sur la base des dessins d'inspection en tenant compte des paramètres suivants :

- **Conditions de service** : Les points qui travaillent dans des conditions plus sévères (pression et température) passent en priorité lors de la sélection.
- **Nature du produit** : Le point est choisi à l'endroit où circule ou séjourne un produit agressif (présence de CO2 ou de l'eau ...)

- **Epaisseur initiale** : Les endroits à faibles épaisseurs (généralement ont des diamètres petits) représentent des points à haut risque de l'installation.
- **Accessibilité du point** : Le point choisit doit être accessible et doit présenter les espaces et encombrements adéquats pour effectuer les contrôles nécessaires.

Choix des méthodes de contrôle

Le choix de la méthode est basé sur le type de détérioration probable, les caractéristiques de défauts et les performances de chaque méthode

Type de détérioration probable :

Les détériorations peuvent être estimées en se basant sur les facteurs suivants :

- Composition du fluide.
- Eléments corrosifs contenants dans le fluide.
- Spécification des matériaux.
- Conditions de service .

Caractéristiques des défauts :

- Défaut interne ou surfacique
- Défaut plan ou volumétrique
- La taille du défaut (micro ou macro)

Performances des méthodes :

Les méthodes de contrôles non destructifs les plus utilisées dans l'industrie pétrolière sont :

- IV : Inspection visuelle.
- UT: Ultrason.
- RT: Radiographie.
- PT: Ressuage.
- MT: Magnétoscopie.

Chacune de ces méthodes a ses spécificités et ses limites d'application. Selon le type de contrôle voulu et la nature des mesures désirées, on fait appel à la méthode appropriée.

Période et cycle de contrôle

Le cycle de contrôle :

Il indique la fréquence avec laquelle les contrôles sont exécutés. On le détermine pour chaque point régulier d'inspection en fonction de ses conditions de travail et selon les résultats de la première inspection

Inspection pendant la marche (OSI) :

Avec ce type d'inspection on peut suivre l'évolution de l'état des canalisations sans altérer leur fonctionnement on utilisant les méthodes de CND notamment Les ultrasoniques et la radiographie .

Pendant cette période, on peut programmer des inspections externes comme :

- La radiographie sur les pipes de diamètre inférieur à 8".
- Les mesures d'épaisseur sur des pipes de diamètre supérieur à 4", à condition de respecter la limite de température pour ne pas endommager le palpeur de l'appareil ultrason.
- Application de PT et MT sur les cordons de soudures.

Inspection pendant l'arrêt programmé (SDI):

Ce type d'inspection est programmé en cas d'urgence même en dehors des arrêts réglementaires (triennales et décennales) .

Durant cet arrêt, sont programmés toutes les inspections impossibles à effectuer pendant le fonctionnement de l'unité telles que :

- Les inspections internes des capacités.
- L'application des MT et PT aux cordons de soudures internes.
- L'application de UT et RT sur les pipes fonctionnant à des températures élevées.

Inspection pendant l'arrêt accidentel :

Ce mode d'inspection s'effectue suite à une panne non prévisible. Le travail de l'inspection se limite dans ce cas à déterminer les causes de la défaillance et à proposer le remède approprié .

PLANNING

C'est la dernière étape dans cette phase, Il s'agit de préparer un planning (sous forme de tableaux) pour la réalisation des inspections et des contrôles programmés. Le planning comporte tous les renseignements et les procédures définies dans les étapes précédentes à savoir :

- La localisation du point de contrôle (Numéro de ligne, d'item et du point) ;
- La référence (Année du premier contrôle) ;
- Le cycle de contrôle ;
- La méthode de contrôle ;
- La période de contrôle ;
- Les conditions relatives à l'exécution (échafaudage, décalorifugeage).

PHASE DE REALISATION

Dans cette phase on applique sur site les techniques d'inspection et de contrôle non destructif planifiées. Tous les points à contrôler sont regroupés dans un document qui indique tous les préparatifs nécessaires pour exécuter le contrôle. Pour chaque point, on associe les informations suivantes :

- S'il est nécessaire d'effectuer un nettoyage.
- S'il est nécessaire de placer un échafaudage.
- S'il est nécessaire de décalorifuger etc..

PHASE DE VERIFICATION ET D'INTERPRETATION

Après avoir recueilli les résultats d'inspection, il est nécessaire de les commenter et les interpréter, autrement dit :

- Comparer ces résultats avec ceux de l'inspection précédente ou avec les données de design .
- Faire un commentaire sur les valeurs obtenues (valeurs maxi, mini)
- Interpréter les résultats en montrant les conditions de service, les causes et la gravité des endommagements
- Evaluer les endommagements (vitesse de corrosion, l'épaisseur minimale admissible et la durée de vie restante)
- Voir si l'endommagement est acceptable ou non (suivant les normes en vigueur)

PHASE D'ACTION

Exploitation des résultats

Après l'interprétation des résultats d'inspection et compréhension de l'origine de l'endommagement détecté et sur la base du diagnostic obtenu, il faut faire des recommandations et les adresser aux structures concernées pour y remédier aux anomalies constatées

Il y a deux genres d'actions :

- Action dans l'immédiat : il s'agit de résoudre le problème rapidement ; car l'anomalie peut perturber le fonctionnement normal de l'unité ; et le remettre en état de marche dans l'immédiat.

Exemple de :

- Nettoyage ;
 - Revêtement,
 - Réparation, ...etc.
- Action à long terme : Dans ce cas il faut réviser le plan d'inspection et intensifier le contrôle sur les points touchés à fin de cerner le problème rencontré et de trouver des solutions rationnelles.

Rapport d'inspection

Un rapport d'inspection détaillé doit être élaboré. Ce rapport doit comporter un descriptif fiable de :

- Les résultats des contrôles non destructifs effectués.
- L'état de la conduite après réparation (s'il y a lieu)
- Interprétation des résultats.

:

VII.2 Procédure d'inspection des canalisations [11]

Visite extérieure d'une canalisation aérienne

Canalisation non calorifugée

Le contrôle Visuel : les points à contrôler sont :

- Etat du revêtement
- Détermination des surfaces corrodées sur les parois et les cordons de soudure et évaluation de la perte d'épaisseur
- Points de contact avec les racks, les colliers et les patins, les entrées et sorties sol,.
- Etat des brides et de la boulonnerie
- Vérification de l'étanchéité (application d'eau savonneuse pour contrôle approfondi)
- En cas de doute sur l'état des supports, dépose des colliers ou soulèvement de la tuyauterie pour recherche de la corrosion

Mesures d'épaisseur (ultrasons ou radiographie)

- Points prévus sur l'isométrie de la tuyauterie (RIP), pour recherche de corrosion interne, et d'éventuels défauts interne

Tuyauterie calorifugée (ou frigorifugée)

Le plan de décalorifugeage est fixé par le plan de suivi et contrôle. Selon l'état du calorifuge et les résultats de l'inspection, le plan de décalorifugeage peut être étendu à toute ou partie de la tuyauterie.

Le contrôle visuel : les points a contrôler sont :

- Etat du calorifuge (frigorifuge)
- Détermination des surfaces corrodées sur les parois décalorifugées (supports, piquages, brides, etc...).
- Etat du revêtement et peinture
- Vérification de l'étanchéité

Mesures d'épaisseur (ultrasons ou radiographie)

- Points prévus sur l'isométrie de la tuyauterie (RIP), pour recherche de corrosion interne ou d'éventuels défauts

Visite intérieure d'une canalisation aérienne

Ceci suppose que la tuyauterie soit de dimensions suffisantes, à l'arrêt, avec autorisation de pénétrer. L'inspection est alors analogue à une visite interne de capacité.

Canalisations enterrées

Ces canalisations sont inspectées ponctuellement par fouilles. Celles-ci sont pratiquées d'abord aux entrées et sorties de la tuyauterie dans le sol, puis aux points singuliers et par sondage sur les longueurs courantes.

Selon l'état du revêtement et les résultats de l'inspection, les fouilles peuvent être étendues à toute ou partie de la tuyauterie.

Le contrôle Visuel : les points à contrôler sont :

- Vérification de l'étanchéité (recherche de fuite en surface)
- Etat du revêtement
- Détermination des surfaces corrodées sur les parois et les cordons de soudure et évaluation de la perte d'épaisseur après mise à nu au droit des excavations

VII.3 Insuffisances et recommandations

Le plan de suivi et contrôle de l'intégrité des canalisations dans le champs de Hassi Messaoud est établi sur la base de procédures adoptées par de grandes compagnies dans le domaine des hydrocarbures, et a été bien adapté pour le cas des unités de ce champs, mais les méthodes de contrôle appliquées pour une meilleure prise en charge de la détection et localisation des défauts sont insuffisantes.

Ces insuffisances sont résumées comme suit :

- Le contrôle de l'état de la surface interne par ultrason ou radiographie est insuffisant et ne touche qu'une surface très réduite par rapport a la surface d'une canalisation
- L'impossibilité de procéder au contrôle visuel interne des canalisations (petit diamètre, inaccessibilité...)
- Le contrôle de toute la surface externe des tronçons enterrés et calorifugés est pratiquement impossible avec les techniques appliquées
- L'inspection en service des canalisations (surtout celles situées à l'intérieur des unités) est très limitée, (encombrement, inaccessibilité, risque...)

- Absence de plan d'inspection efficace et complet des canalisations les plus stratégiques du champ (lignes d'expédition, collecteurs principaux, lignes haute pression...)

Sur la base de ces insuffisances, et afin d'avoir un plan d'inspection plus complet, nous recommandons ce qui suit :

- Adopter les techniques MFL et ultrasons pour le contrôle de la totalité de la surface interne et externe des canalisations piggables (équipées de gares racleur)
- Adopter la technique d'ondes ultrasons guidée pour les canalisations non piggables
- Adopter la technique d'ondes ultrasons guidée pour les tronçons enterrés ou calorifugés
- Se munir de logiciel de suivi de la corrosion et la gestion des données d'inspection des canalisations

Conclusion

Bien que la physique employée pour obtenir des données des inspections n'ait pas changé ces dernières années, la résolution, la précision des outils et les techniques analytiques ont progressé sensiblement.

Pour les développements, des efforts supplémentaires devraient se concentrer sur la réduction de données spectrales et d'autres analyses pour améliorer l'exactitude, et l'évaluation statistique des données. Il y a des avancées significatives qui peuvent être faites dans ces secteurs, et ce travail devrait être conduit parallèlement à la poursuite des technologies nouvelles ou améliorées de CND.

Dans l'industrie de canalisation il y a un besoin de mieux comprendre le traitement et l'interprétation des données d'inspection après qu'elles soient rassemblées.

L'étude a indiqué des lacunes significatives dans les méthodes actuellement disponibles pour l'évaluation des défauts. Les conclusions récapitulées ci-dessous sont suivies des recommandations afin de développer une approche complète pour l'inspection de canalisation.

Données de défaillance des canalisations

- Les canalisations en général ont de bons résultats de sécurité, mais les défauts sont inévitables et peuvent exiger des réparations très coûteuses, ou peuvent mener aux défaillances et aux interruptions coûteuses à la production.
- Les causes primaires des défaillances de canalisation sont les dommages mécaniques et la corrosion.

L'inspection Avant pose des défauts du périmètre de la soudure

- On rapporte que la radiographique est la plus adaptée pour la détection la plupart du temps des défauts volumiques. Cependant, les ultrasons sont plus fiables que la radiographie pour la détection des défauts plans nuisibles. En outre, à la différence de la radiographie conventionnelle, les ultrasons peuvent fournir des informations au sujet de la taille des défauts nécessaire afin de pouvoir mettre en oeuvre l'analyser du mécanisme de rupture.
- L'application de l'ultrason a été gênée par le manque de procédures codifiées contenant des conditions minimales pour effectuer les contrôles et par les normes courantes d'acceptation de défaut qui sont écrites en termes de radiographie.

Inspection en service

- L'inspection intégrée employant les racleurs intelligents a mûri rapidement pendant les deux dernières décennies. Actuellement, elle est acceptée par une grande partie de l'industrie de canalisation comme méthode fiable d'inspection qui peut fournir des informations utiles sur l'état des canalisations permettant de ce fait à des décisions d'être prises concernant leur intégrité, aptitude au service ou réparation.
- Actuellement il n'y a aucun racleur intelligent capable de fournir tous les services nécessaires d'inspection dans une seule mission à travers la canalisation. Les différents besoins d'inspection sont susceptibles d'exiger différents outils incorporés dans plus d'un racleur. D'ailleurs, dans certains cas, plusieurs technologies peuvent être employées pour exécuter la même mission d'inspection. La qualité des données fournies par une inspection avec racleur dépend de la technologie utilisée et des conditions spécifiques dans la canalisation inspectée. En conséquence, l'évaluation des avantages et des inconvénients de diverses technologies de racleur est difficile à moins que ceux-ci soient examinés dans la même canalisation défectueuse dans les mêmes conditions.
- Les technologies les plus largement répandues pour la détection et la quantification des défauts de perte de métal sont la fuite de flux magnétique (MFL) et les ultrasons. Les deux techniques ont atteint un niveau avancé de la sophistication en ce qui la capacité des racleurs de faire face à l'environnement hostile de canalisation. Bien que les deux systèmes puissent détecter des défauts de corrosion à un degré d'exactitude élevée, on rapporte que les racleurs ultrasoniques peuvent être classés plus exactement comme racleurs de profondeurs et celles MFL comme racleurs de défaut. En ce qui concerne la détection de fissure, les deux techniques sont gênées par des limitations dues à la taille et à l'orientation des fissures de canalisation, et la direction des systèmes de sensation utilisés. Les racleurs MFL peuvent être employés dans les lignes de liquide et de gaz, tandis que les racleurs ultrasoniques ne peuvent pas être employés dans les lignes de gaz à moins qu'un bouchon de liquide soit injecté temporairement dans la ligne de gaz pour fournir un milieu homogène pour l'impulsion ultrasonique.

Bibliographie

- [1] Belligton Osborne, Moss Engineering Ltd, *Review of current practice in pipeline defect assessment*. Health & Safety Executive, 1999.
- [2] PJ Mudge, *Long Range Ultrasonic Testing Technique*, TechCorr USA, 2001.
- [3] CONRAD, *Corrosion Control in Pipelines*, Champion Technologies, February 2004.
- [4] US Army Corps of Engineers, *Inspection, Evaluation, and Repair of Hydraulic Steel Structures*, EM 1110-2-6054, 1 December 2001
- [5] Karim JEZZINE, *Approche modale pour la simulation globale de contrôles non-destructifs par ondes élastiques guidées*, Université de BORDEAUX, 2006
- [6] Dr. Rainer Schmidt, 3P Services, Lingen, Germany, *Unpiggable pipelines – what a challenge for in-line inspection*, Pigging Products and Services Association. 2004
- [7] D. SLESSAREV, V. SUKHORUKOV, S. BELITSKY, Intron plus, Moscow, Russia, E. VASIN, N. STEPANOV, Diascan, Lukhovitsy, Russia, *Magnetic In-Line Inspection of Pipelines*, ECNDT 2006
- [8] Gas Technology Institute (GTI), *Ultrasonic Technology for Gas Pipeline Inspection*, October 2004
- [9] JGC/TAS Project, *Inspection log book in Hassi Messaoud*, 1998
- [10] SH/DP/Hassi Messaoud, *Procédure de suivi de corrosion sur le champ de Hassi-Messaoud*
- [11] Remi BATISSE, *Intégrité des canalisations de transport de gaz: analyse des défauts* Gaz de France, Décembre 2005.
- [12] Recommended Practice DNV-RP-F101, *Corroded Pipelines*, DET NORSKE VERITAS, October 2004.
- [13] Recommended Practice DNV-RP-F107, *Risk Assessment of Pipeline Protection*, DET NORSKE VERITAS, March 2001.
- [14] U.S. Department of Transportation, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, *Potential application of nondestructive testing methodologies utilized in other industries for pipelines*, Leewis and Associates Ltd, July 2006
- [15] TOTAL FINA ELF, Direction Raffinage, *Guide inspection des équipements sous pression*, 2003.
- [16] TOTAL FINA ELF, Direction Raffinage, *Guide inspection des équipements sous pression*, 2003.