

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Mémoire de Master en Sécurité industrielle

Spécialité : QHSE-GRI

Intitulé

**TECHNIQUE D'INSPECTION DE TUYAUTERIES EN
EXPLOITATION**

Etudié par : OUDIHAT Kaouter

Proposé par : CHATI Makhlouf

Encadré par : CHATI Makhlouf
DJOUADI Karima
TOUAHAR Bachir

Promotion Juin 2015

الهدف من هذه الدراسة تقديم تقنيات الفحص الفنية المستخدمة في الأنابيب، وذلك باستخدام مختلف التقنيات الغير مدمرة CND على الفرن H-201 الموجود في المعمل معالجة الغاز MPP1 بحاسي الرمل.

المنهجية المقترحة تمكن من تقييم درجة خطورة المعدات، وتحديد تدابير المراقبة المناسبة لتنفيذها وذلك على حسب أنواع تدهور حالة الانابيب الموجودة وتحديث مخططات الفحوص المستخدمة إذا استلزم الأمر ذلك.

الفحص التقني المجرى على الفرن H-201 ، وذلك بعد ثلاثة سنوات (03) من الفحص التقني الاخير، بين ان هذا الاخير في حالة جيدة وسمح بتأكيد ان مخططات الصيانة المستعملة بحاسي الرمل مناسبة.

كلمات البحث: الفحوص التقنية، الأنابيب، مخطط الصيانة، CND.

Résumé

Ce travail a pour objet de présenter *les techniques d'inspection des tuyauteries* en exploitation et cela par l'utilisation de différentes techniques de contrôle non destructif (CND) sur un Four de Rebouillage H- 201 installé sur l'usine de traitement de gaz MPP1 à HassiR'mel.

La méthodologie proposée permet d'évaluer le niveau de criticité des équipements, de définir les actions de surveillance appropriées à mettre en œuvre en fonction des modes de dégradation constatés et d'actualiser les plans d'inspection utilisés s'il y a lieu.

L'inspection réalisée sur le Four de Rebouillage H-201, après trois (03) années de la dernière révision, montre que celui-ci est en bon état et on peut donc affirmer que les *plans de maintenances* en usage au niveau de MPP 1 sont adéquats.

Mots clés: Technique d'inspection, Tuyauteries, Plan de maintenance, CND.

Abstract

This work aims to present the technical inspection of pipelines in operation and that the use of different non-destructive testing (CND) techniques on a heater reboiler H- 201 installed on the gas processing plant MPP1 in Hassi R'Mel.

The proposed methodology for assessing the level of criticality of the equipment, identify appropriate monitoring measures to be implemented to observed degradation modes and update the inspection plans used if appropriate.

The inspection carried out on the heater reboiler H-201, after three (03) years of the latest revision shows that it is in good condition and it can be said that the use in maintenance plans at MPP 1 are adequate.

Keywords: Technical Inspection, Piping, Maintenance Plan, CND.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents et toute ma famille

Mes amis (es)

KAOUTER

Remerciements

Remercier, c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leur compétence, ont su créer une ambiance de travail qui m'a permis de finaliser ce mémoire.

Je tiens à remercier Monsieur CHERGUI, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, d'avoir accepté d'être président de jury de ce mémoire.

Je tiens à remercier Madame DJOUADI et Monsieur TOUAHAR, d'avoir accepté la lourde tâche de rapporteurs et d'avoir consacré un temps précieux à l'examen de ce mémoire.

Je tiens à remercier aussi Messieurs BENSARI et KERTOUS pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Messieurs ANNOU et CHATI de la Division Sécurité SHDP/ HASSI R'MEL, qui m'ont suivi et encadré sur les aspects scientifiques, pratiques et expérimentaux avec une grande compétence.

Je remercie également de manière particulière Messieurs FEKHAR et BENKETTAS et M'HENNI du MPP 1 pour leur gentillesse et leur accueil ainsi que leurs explications et conseils.

Par ailleurs, je remercie tous mes enseignants en particulier Madame ZEBOU DJ, le personnel et tous nos collègues de l'ENP d'ALGER.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Liste des figures

Figure 2.1 - Vue d'extérieure de la cheminée.....	15
Figure 2.2 - Zone de convection	15
Figure 2.3 - Zone de radiation	16
Figure 2.4 - Serpentins.....	16
Figure 2.5 – Brûleurs et pilotes.....	16
Figure 2.6 - Filtre à panier	17
Figure 2.7 - Représentation schématique du Four de Rebouillage H-201	17
Figure 2.8 - Corrosion haute température par des sels fondus	18
Figure 2.9 - Application de la technique de Ressuage sur les tôles du four.....	20
Figure 2.10 - Équipement de contrôle par ultrasons	20
Figure 2.11 - Principe de l'ultrason	21
Figure 2.12 - Tôles externe du four	25
Figure 2.13 - Trappe du four	25
Figure 2.14 - Inspection de zone de radiation	26
Figure 2.15 - Inspection du serpentin	26
Figure 2.16 - Inspection des Brûleurs	26
Figure 2.17 - Inspection de zone de convection	27
Figure 2.18 - Inspection de cheminée	27
Figure 2.19 - Vue extérieure du filtre à panier	28
Figure 2.20 - Vue d'intérieure du filtre à panier	28
Figure 2.21 - Découpage du serpentin côté nord	29
Figure 2.22 - Mesure de températures sur toute la surface du serpentin	32
Figure 2.23 - Système de mesure par infrarouge.....	32

Liste des tableaux

Tableau 1.1 - Principaux modes de dégradation des tuyauteries en matériaux métalliques.....	8
Tableau 1.2 - Adéquation des techniques de contrôles non destructifs aux types de dommages	9
Tableau 2.1 - Caractéristiques du Four de Rebouillage H-201.....	14
Tableau 2.2 - Résultats de mesure d'épaisseurs.....	30

Acronymes et Abréviations

AE	Appareils Électriques
ALM	Appareils de Levage et de Manutention
APG	Appareils à Pression de Gaz
APV	Appareils à Pression de Vapeur
CCE	Commission des Communautés Européennes
CND	Contrôle Non Destructif
CSC	Corrosion sous contraintes
DMI	Direction des mines et de l'industrie
ENACT	Entreprise Nationale d'Agréage et de Contrôle Technique
ESP	Equipements Sous Pression
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
IR	Infrarouge
PS	Points Singuliers
SPA	Société Par Action
UAR	Union Algérienne des Assureurs et des Réassureurs

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Concepts d’inspection des tuyauteries en exploitation	
Introduction.....	4
1.1. Références réglementaires	5
1.2. Méthodologie générale	5
1.2.1. Evaluation de la criticité.....	6
1.2.2. Actions de surveillance.....	7
1.3. Equipement sous pression.....	7
1.3.1. Points singuliers.....	8
1.4. Modes de dégradation.....	8
1.5. Techniques de contrôle.....	9
1.6. Établissement et mise en œuvre du plan de d’inspection.....	11
1.6.1. Établissement du plan d’inspection.....	11
1.6.2. Mise en œuvre du plan d’inspection.....	12
Conclusion.....	12
Chapitre 2 : Inspection du Four de Rebouillage H-201	
2.1. Description du Four de Rebouillage H-201.....	14
2.2. Mode de dégradation.....	18
2.3. Technique de contrôle.....	19
2.4. Programme d'inspection.....	20

Table des matières

2.5. Organisme d'inspection ENACT.....	22
2.6. Résultat d'inspection du Four de Rebouillage H-201.....	25
2.7. Résultat de Mesure d'épaisseur du serpentín	29
2.8. Solutions retenues.....	31
Conclusion.....	33
Conclusion générale	34
Bibliographie	35
Glossaires	37
Annexes	40

Introduction générale

Dans l'industrie et la construction, les endommagements des tuyauteries ont des conséquences économiques considérables, tant directement, par les coûts d'intervention et la consommation de produits métallurgiques qu'elles engendrent, qu'indirectement (arrêt des unités industrielles de production pour réparations, dégradation de la qualité des produits manufacturés, etc.).

Les tuyauteries sont des parties importantes de toute unité de traitement ou de production d'énergie. Leur fonction est de véhiculer un fluide, sous une pression et une température données.

L'industrie et les compagnies d'assurance indiquent que 44 % des pertes des installations de procédés sont attribuables aux défaillances des fours. La majorité des événements sont en relation avec les défaillances des tubes (serpentin).

Donc il est indispensable d'assurer un service satisfaisant durant toute la période de fonctionnement avant la prochaine révision.

Une tuyauterie forme une structure tridimensionnelle dans l'espace qui, durant sa vie, se trouve soumise à un certain nombre d'actions qui engendrent des contraintes ; celles-ci peuvent être introduites à l'origine, par la fabrication et le montage, ou bien apparaître à la suite de diverses circonstances, pendant les essais, en fonctionnement ou à la mise à l'arrêt par exemple.

Problématique :

Les incidents les plus marquants enregistrés sur les Fours ont engendré la destruction totale de ces équipements (exemple du Four du MPP3 de Hassi R'mel en janvier 1989) suite à un incendie dû à la rupture de serpentins.

L'analyse de ces incidents a montré que les causes profondes sont dues à des défaillances techniques et organisationnelles (corrosion, fissures, points chauds, procédures de maintenance et inspection...).

Après avoir traité, par ailleurs, la problématique de la performance des différentes barrières de sécurité mise en place pour faire face aux défaillances techniques (événement initial) du Four de Rebouillage H-201, par l'application de la méthode LOPA, il est important de traiter, de même, les causes dues aux défaillances organisationnelles et d'analyser les techniques d'inspection utilisées pour ce Four, tel est l'objet de ce travail.

Afin de toucher à tous les aspects qui causent des problèmes et garantir un niveau de sécurité optimal, les questions suivantes sont posées :

- ✓ Comment doit-on choisir la technique d'inspection des tuyauteries la mieux adaptée aux modes de dégradation de l'équipement étudié ? ;
- ✓ Sur quelle base doit-on mettre en place des plans d'inspection pour ce genre d'équipements ?

Ce travail est organisé comme suit :

Chapitre 1 : Ce chapitre rassemble quelques concepts de base ayant une relation avec le sujet étudié à savoir les concepts de mode de dégradation, les techniques de contrôle et enfin l'établissement et la mise en œuvre des plans d'inspection.

Chapitre 2 : Ce chapitre illustre, décrit les différentes techniques d'inspection du Contrôle Non destructif (CND) utilisées par la SONATRACH et présente les résultats obtenus de l'inspection du Four de Rebouillage H-201 du MPP1.

Enfin, ce mémoire est clôturé par une conclusion qui répond aux questions que l'on s'est posé.

CHAPITRE 1

Concepts d'inspection des tuyauteries en exploitation

Introduction :

La surveillance et le contrôle des Equipements Sous Pression (ESP), soumis à la réglementation ou objets d'une spécification interne, sont assurés de longue date dans les établissements de l'industrie pétrolière et de l'industrie chimique par des services inspection internes.

L'inspection des tuyauteries est une composante importante de la maintenance des ESP. Elle a pour but de prévenir, par des explorations in situ, dans la très grande majorité des cas non destructives, l'apparition ou le développement d'endommagements (dommage ou dégradation) dont l'une des conséquences est matérialisée par une discontinuité appelée défaut.

Une statistique effectuée par la Commission des Communautés Européennes (CCE) montre que plus de 60 % des défaillances des structures métalliques industrielles sont dues à des phénomènes de corrosion [Procaccia & Morilhat, 1996].

1.1. Références réglementaires :

La réglementation Algérienne en la matière a évolué progressivement au fil des années et a accordé une importance capitale à la sécurité des personnes et des biens. A ce titre et pour ne citer que quelques textes nous avons :

- ✓ Le décret 90-245 du 18 Aout 1990 portant réglementation des Appareils à Pression de Gaz (APG) (**Article 24**) [ENACT, 2015];
- ✓ Le décret exécutif 90-246 du 18 Aout 1990 portant réglementation des Appareils à Pression de Vapeur (APV) (**Article 56**) [ENACT, 2015];
- ✓ Le décret N° 91-05 du 196 Janvier 1991 relatif aux prescriptions générales applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail porte sur les visites de vérification et les entretiens périodique qui doivent être prévus de façon particulière et selon les périodicités fixées par la réglementation notamment pour : (**Article 62**) [ENACT, 2015].
- Appareils de levage, équipement et engins de manutention ; Installations électriques et Appareils sous pression.

1.2. Méthodologie générale :

La méthodologie proposée permet d'évaluer le niveau de criticité des équipements et de définir les actions de surveillance appropriées à mettre en œuvre et à porter dans les plans d'inspection.

1.2.1. Evaluation de la criticité :

En pratique, la criticité des équipements est établie en appliquant une démarche combinant gravité et catégorie de probabilité d'une défaillance :

- La gravité d'une défaillance dépend notamment des:
 - Fluides et produits présents, dangers qu'ils représentent (toxicité, inflammabilité ...) ;
 - Leur point d'éclair, et la quantité, ou du débit susceptible d'être libéré en cas de perte de confinement ;
 - L'équipement, et ces conditions de fonctionnement : température, pression,... (conditions normales et transitoires) ;
 - Possibilités d'isolement ou de vidange rapide ;

- La catégorie de probabilité d'une défaillance dépend notamment de :
 - Modes et vitesses de dégradation ;
 - Conditions externes : Climatiques, vibrations, efforts aux limites ... ;
 - Présence occasionnelle dans le produit d'éléments susceptibles d'engendrer des endommagements ;
 - Conception et de la construction du matériel ;
 - Stabilité des paramètres de fonctionnement ;
 - Pertinence des actions d'inspection ;
 - L'efficacité des opérations de maintenance (maintenabilité technique).

1.2.2. Actions de surveillance :

Les actions de surveillance sont d'autant plus fréquentes, approfondies et complètes que la criticité de l'équipement est élevée.

La nature des actions de surveillance est fonction, notamment :

- Du type de l'équipement (récipient, générateur, tuyauterie, accessoire), des matériaux constitutifs ;
- Des contraintes de mise en œuvre en milieu industriel ;
- Du résultat des inspections précédentes, et du retour d'expérience disponible ;
- De la conception (existence de points singuliers) ;
- Des conditions extérieures, en particulier atmosphériques.

Il convient de s'assurer que toutes les actions retenues peuvent être réalisées de façon réaliste, surtout lorsqu'elles sont exécutées en marche ; leur mise en œuvre doit alors prendre en compte les contraintes correspondantes.

1.3. Equipements sous pression :

Les équipements sous pression sont destinés à contenir des fluides dans une enceinte dont la sécurité de confinement est issue de l'application de règles de mise sur le marché et de suivi en service [IIC, 2013]. En Europe, des obligations nationales, issues de directives européennes, couvrent les conditions de mise sur le marché d'équipements contenant des liquides et des gaz. Les réglementations de suivi en service sont des démarches nationales. Le champ des équipements sous pression est très vaste. Il couvre des appareils (et des accessoires sous pression et de sécurité associés) de type, de dimensions, et de risques très variés, comme des :

- Générateurs de vapeur, depuis l'autocuiseur aux chaudières de centrales thermo électriques ;
- Récipients, du réservoir d'air mobile de compresseur aux réacteurs de l'industrie pétrochimique, et des stockages de gaz comprimés ou liquéfiés sous pression ;
- Tuyauteries, véhiculant des fluides très variés dans l'enceinte d'installation ;
- Canalisations de transport.

1.3.1. Points singuliers :

Les Points Singuliers (PS) des tuyauteries sont les zones particulièrement sensibles et favorables à l'apparition de dégradations susceptibles d'engendrer des dommages spécifiques ou accentués par rapport à ceux constatés sur la tuyauterie hors points singuliers.

Il peut s'agir des zones suivantes :

- ✓ Zones calorifugées et frigorifugées à proximité des arrêts d'isolant, au droit de supports de calorifuge sur des portions verticales de tuyauterie ;
- ✓ Supportages et fixations ;
- ✓ Coudes, réductions, pénétrations de soudures ou autres irrégularités locales ou du tracé qui peuvent constituer des zones sensibles à l'érosion ou à la corrosion/érosion ;
- ✓ Zones de vibration (notamment les tuyauteries directement attachée à une machine alternative) ;
- ✓ Zones de concentration de contrainte (accidents géométriques, imperfections de soudures).

1.4. Modes de dégradation :

Les principaux modes de dégradation qui peuvent être rencontrés sur des tuyauteries sont listés dans le tableau suivant:

Tableau 1.1 - Principaux modes de dégradation des tuyauteries en matériaux métalliques [DT 32, 2008]

Classification	Type	Exemples	Effets
Corrosion humide	• <u>Générale</u>	✚ Corrosion atmosphérique des aciers non ou faiblement alliés avec localisation préférentielle par exemple : Aciers non ou faiblement alliés dans les acides (H ₂ SO ₄ , HCl, acide formique, acide acétique, ...)	Perte d'épaisseur généralisée
	• <u>Localisée</u> : - Corrosion sous contraintes (CSC)	✚ Fissuration sous tension des inox austénitiques en présence de chlorures (Corrosion atmosphérique sous calorifuge)	Fissures
	• Par courants vagabonds	✚ Mise à la terre non maîtrisée en particulier à proximité des salles d'électrolyse ou d'une voie ferrée	Perte d'épaisseur locale

Tableau 1.1 (suite) - Principaux modes de dégradation des tuyauteries en matériaux métalliques [DT 32, 2008]

Classification	Type	Exemples	Effets
Corrosion humide (suite)	<ul style="list-style-type: none"> Assistée par des facteurs mécaniques : - Erosion / corrosion - Abrasion / corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> Aciers non ou faiblement alliés dans un flux d'acide sulfurique concentré ($v > 0,8$ m/s) ou de Chlore ; Matériaux métalliques dans un milieu contenant des particules solides en mouvement 	Perte d'épaisseur Perte d'épaisseur locale
Corrosion haute température	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion par les gaz : - Oxydation, sulfuration, carburation, et nitruration ... 	<ul style="list-style-type: none"> Oxydation, carburation ou sulfuration des tubes de fours procédés, de vapocraquage, procédés et de chaudières 	Dénaturation
	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion par les sels fondus 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion des matériaux métalliques en contact avec des sels ou eutectiques à bas point de fusion ($\text{Na}_2\text{O}/\text{V}_2\text{O}_5$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaHSO}_4$). 	Perte d'épaisseur

1.5. Techniques de contrôle :

Les principales techniques de contrôle applicables aux tuyauteries et leurs limites d'utilisation sont décrites dans le tableau suivant (Annexe A):

Tableau 1.2 - Adéquation des techniques de contrôles non destructifs aux types de dommages [DT 23, 2008]

Techniques de contrôle	Mesures de perte d'épaisseur	Fissures débouchantes	Fissures non débouchantes	Microfissures, Lacunes (cavités de fluage)	Modifications métallurgiques	Modifications dimensionnelles	Blistering (gonflement, cloquage)	Corrosion localisée par piqûres
Examen Visuel (VT)	P à TB ⁶	P à M	NA	NA	NA	P à TB	P à TB	TB
Ultrasons (UT) : ondes longitudinales avec palpeur droit	M à TB ⁷	NA	NA	P à M (lacunes)	NA	NA	M à TB	NA
Ultrasons (UT) : ondes transversales avec palpeur d'angle ⁸	NA	M à TB	M à TB	P à M	NA	NA	M	NA
Ultrasons (UT) : méthode TOFD	NA	M à TB	M à TB	P	NA	NA	P	NA
Ultrasons (UT) : ondes guidées	M à TB ⁹	M à TB	M à TB	NA	NA	NA	NA	NA
Magnétoscopie (MT) (sur matériaux ferromagnétiques uniquement)	NA	TB	P (sous 2-3 mm maxi)	P (microfissures débouchantes)	NA	NA	NA	NA
ACFM	NA	TB	P	NA	NA	NA	NA	NA
Ressuage (PT)	NA	TB	NA	NA	NA	NA	NA	M à TB
Emission Acoustique (AT)	NA (Corrosion active détectable)	P à TB (si évolutif)	P à TB (si évolutif)	P à TB (Microfissures si évolutives)	NA	NA	P (si évolutif)	TB (en marche si corrosion active)
Radiographie X ou γ (RT)	P à TB	P à M	P à M	NA	NA	NA	NA	M
Contrôles Dimensionnels	NA à TB	NA	NA	NA	NA	M à TB	NA à P	NA
Métallographie / Répliques	NA	P à M	NA	M (microfissures débouchantes)	M à TB	NA	NA	NA
Mesures de dureté	NA	NA	NA	NA	P à TB	NA	NA	NA

Légende des annotations :

- **P = Possible** : La méthode de contrôle peut être utilisée, mais elle peut ne pas être fiable.
- **M = Moyenne** : La méthode de contrôle peut être utilisée, sa sensibilité est moyenne, des défauts naissants peuvent ne pas être détectés.
- **TB = Très Bonne** : La méthode de contrôle est bien ou très bien adaptée à la détection du défaut recherché.
- **NA = Non applicable** : La méthode de contrôle n'est normalement pas adaptée à la recherche du type de défaut.

1.6. Établissement et mise en œuvre du plan d'inspection :

1.6.1. Établissement du plan d'inspection :

Le processus suivi pour l'établissement du plan d'inspection (contrôle total, partiel, par sondage, etc.) comprend les étapes suivantes:

- ✓ L'identification des modes de dégradation et de leur localisation, notamment au niveau des points singuliers (§ 1.5) ;
- ✓ La détermination des contrôles à réaliser pour détecter les dégradations et en évaluer l'évolution (§ 1.6) ;
- ✓ La détermination de la fréquence des contrôles en fonction de l'évaluation des conséquences des défaillances et de l'évolution attendue des dégradations ;
- ✓ Le choix des zones de contrôles représentatives des modes de dégradation identifiés ;
- ✓ La définition des conditions particulières d'intervention en service ou à l'arrêt (ex : accessibilité, décalorifugeage, nettoyage, mise hors service de la tuyauterie, précautions particulières de sécurité).

Toutes ces étapes s'appuient, en outre, sur le retour d'expérience disponible (spécifique, site et profession). Certains cas nécessitent la mise à l'arrêt des tuyauteries pour réaliser des contrôles, par exemple notre cas d'étude d'inspection du serpentín du Four de rebouillage H-201 à cause de :

- ✓ Température de paroi trop chaude (risque de brûlure, impossibilité de réaliser des CND),
- ✓ Préparation de surfaces qui ne peuvent être mises en œuvre que si la tuyauterie ou l'installation est hors service.

1.6.2. Mise en œuvre du plan d'inspection :

Les inspections et contrôles de tuyauteries :

- ✓ Sont mis en œuvre dans le cadre du plan d'inspection ;
- ✓ Peuvent comprendre des inspections périodiques et des requalifications périodiques des tuyauteries, ainsi que des actions d'inspection adaptées aux modes de dégradation identifiés,
- ✓ Peuvent être réalisés en service ou à l'arrêt (cas du Four de Rebouillage H-201) en fonction des modes de dégradation recherchés, des conditions de service, des conditions de préparation nécessaires ou des contraintes de sécurité.

Ces inspections et contrôles, réalisés en service ou à l'arrêt, consistent après mise à disposition des accès et exécution des préparations, en :

- ✓ Une inspection visuelle des parties nues et revêtues des zones accessibles ou rendues accessibles. C'est le moyen fondamental qui conditionne la qualité de la mise en œuvre du plan d'inspection;
- ✓ La réalisation des contrôles non destructifs prévus.

CONCLUSION :

Ce chapitre a été consacré à la présentation des concepts théoriques de base qui ont un lien direct avec le sujet traité, en l'occurrence, les modes de dégradations et les techniques de contrôles retenues les plus adaptées à notre objectif (inspection d'un Four de Rebouillage H-201).

CHAPITRE 2

Inspection du Four de Rebouillage H-201

2.1. Description du Four de Rebouillage H-201 :

L'équipement étudié est le four de rebouillage H-201 de la colonne de distillation T-201 qui sert à éliminer en tête tous les légers indésirables (CO₂, N₂, CH₄, C₂H₆) contenus dans les liquides récupérés (appelé improprement le condensat) dans la section séparation du train. Celui-ci est un four de type cabine équipé de douze (12) brûleurs et de leurs pilotes d'allumage (**Annexe B et C**).

Le condensat¹ (température environ 150°C) venant du fond de la colonne T-201 est envoyé au moyen des pompes P- 201A/B, au four de rebouillage H-201 à travers 10 passes pour être chauffé lors de son passage par deux zones : la zone de convection puis la zone de radiation qui travaillent respectivement à environ 350 °C & 550 °C.

Le fluide sortant du four, partiellement vaporisé à environ 180 °C, est renvoyé à la colonne pour assurer le rebouillage nécessaire à son fonctionnement.

Les caractéristiques principales de H-201 sont reprises dans le tableau suivant :

Tableau 2.1 - Caractéristiques du Four de Rebouillage H-201[Rapport d'inspection équipement SONATRACH, 2013]

Unite	Train 3 Module 1		Repere	13-H201	Date	Aout 2013		
Nom	Rebouilleur du déethaniseur				Inspecteur	DJERAR/CHAKHOUM		
Code	API RP 530		Date Demar.	1994	Der. Inspect	Juin 2010		
Diametre(tube)	168,3 mm		Constructeur	SEC INDUSTRIES Bld d'anneaux Chateauroux France				
Longueur(tube)	12192 mm			2231	Date de Fabrication	1993		
Fluide	Hydrocarbure		Parts	Epaisseur (mn)	Materiau	Nombre Tube	Diamètre Tube	
Paramètres Opératoires		Pressure (kg/cm ²)	Température (°C)	Paroi	/	/	10 passes	168,3
				Boite de distr.	/	/		
	Scce	26	180	Paroi Append	/	/		
	Cal	27,5	370	Fonds Append	/	/		
	Epr	55	Ambiante	Tube	7,11	A 106 Gr B		
				Calandre	/	/		
				Radiographie	API 661	PWHT		
			Poids à Vide	/	Volume	17400 litres		

Les brûleurs du four sont alimentés en fuel gaz par des lignes 2'' piquant sur un collecteur 6''. Les pilotes quant à eux sont alimentés par des lignes ½'' piquant sur des lignes de 2''. L'alimentation en condensat se fait par des lignes de 6'' à travers un collecteur de 20''.

2.1.1. Constitution du Four H-201 :

Le Four H-201 comprend :

- ✓ (1) : Une cheminée par laquelle les fumées sont rejetées à l'atmosphère;



Figure 2.1 - Vue d'extérieure de la cheminée

- ✓ (2) : Une Zone de convection installée à la sortie des fumées venant de la chambre de combustion.

Cette zone est constituée d'un faisceau de tubes placés perpendiculairement à la direction des fumées et sert à améliorer le rendement du four.



Figure 2.2 - Zone de convection

✓ (3) : Une Zone de radiation (rayonnement) constituant la chambre de combustion. Celle – ci est garnie intérieurement de matériau réfractaire isolant et les tubes sont exposés à la flamme qui transmet la chaleur principalement par radiation des produits de combustion;



Figure 2.3 - Zone de radiation

✓ (4) : Un Serpentin composé de 10 passes ;



Figure 2.4: Serpents

✓ (5) : 12 Brûleurs équipés de pilotes;



Figure 2.5 – Brûleurs et pilotes

✓ (6) : Filtre à paniers de filtration de fuel gaz ;



Figure 2.6 - Filtre à panier

- La représentation schématique suivante indique les éléments précédents :

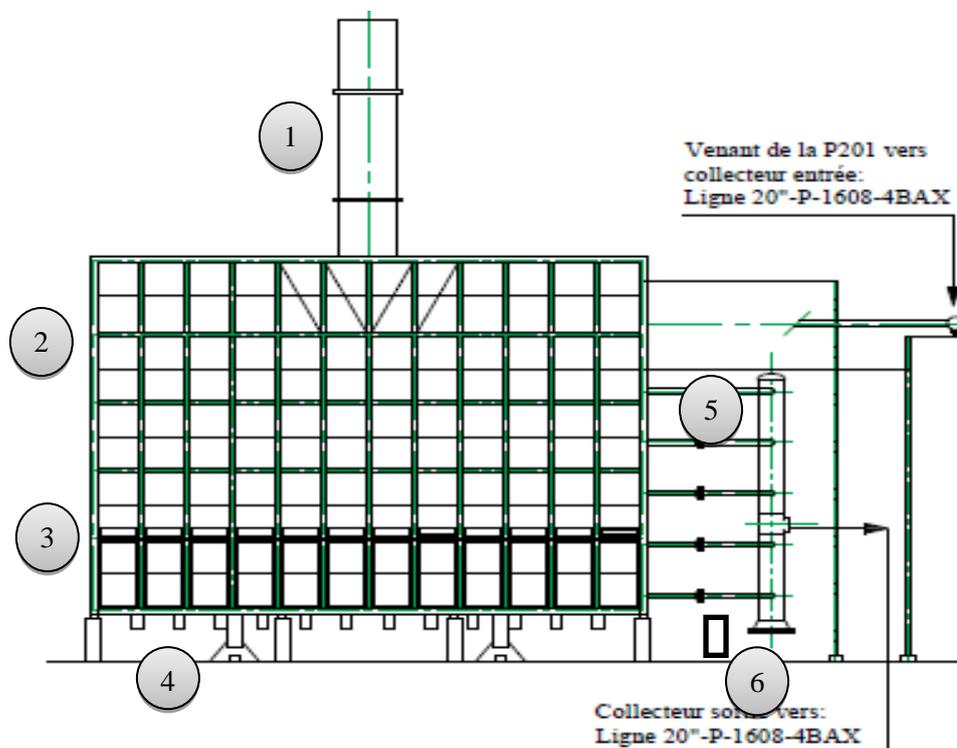


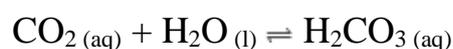
Figure 2.7: Représentation schématique du Four Rebouilleur H-201 [Rapport d'inspection équipement SONATRACH, 2013]

2.2. Mode de dégradation :

Le gaz de Hassi R'mel sort du réservoir sous forme d'un mélange de Gaz, condensat, GPL, de faibles proportions de CO₂, de la vapeur d'eau en plus de l'eau libre et des sels dissous (NaCl principalement).

Au cours du traitement du gaz, des problèmes de dégradation du métal des équipements sont constatés. Ils sont principalement dus à :

- ✓ L'eau en contact du CO₂ et sous certaines conditions forment l'acide carbonique (Acide faible) H₂CO₃ qui provoque la dégradation du métal des équipements par corrosion ; l'équation chimique est la suivante :



- ✓ Les sels dissous se déposent dans les serpentins et causent des "points chauds" dans certains endroits du four.
Ces points chauds fragilisent le métal en cet endroit et peuvent provoquer sa rupture et causer un incendie qui peut mener à une fatalité.
- ✓ Les sels dissous sont la source de la corrosion haute température comme le montre la figure 2.8 ci-dessous



Figure 2.8 - Corrosion haute température par des sels fondus

- ✓ L'érosion du métal qui est due au débit important de gaz comportant des sédiments (grains de sable, etc.).

2.3. Technique de contrôle :

Dans le cas de ce four, trois techniques de contrôle non destructif (CND) sont utilisables : Contrôle visuel, Ressuage et Ultrasons (ondes longitudinales avec palpeur droit).

❖ **Contrôle visuel :**

Le contrôle visuel est une technique essentielle lors du contrôle non destructif. L'état extérieur d'une pièce peut donner des informations essentielles sur l'état de celle-ci : des défauts évidents (comme des pliures, des cassures, de l'usure, de la corrosion ou fissures ouvertes). Il doit être effectué dans de bonnes conditions :

- ✓ Un éclairage suffisant : Le niveau d'éclairement minimum requis est de l'ordre de 350 Lux ;
- ✓ L'accessibilité de la partie à examiner doit permettre d'approcher l'œil à au moins 60 cm, sous une incidence de 30°.

❖ **Contrôle par Ressuage :**

Le contrôle par ressuage permet de détecter des défauts de compacité, parfois très fins, débouchant en surface et non obstrués (fissures, porosités, replis, manque de liaison) sur des matériaux métalliques non poreux et non absorbants.

Ce contrôle est réalisé à l'aide de produits (les pénétrants) à très faible tension superficielle qui pénètrent par capillarité dans les défauts débouchant en surface. Après élimination de l'excès de pénétrant sur la surface des pièces, l'apparition visuelle des défauts est réalisée par l'application d'un révélateur en une fine couche de poudre constituée de microscopiques tubes capillaires qui pompent le pénétrant retenu dans les discontinuités des défauts.



Figure 2.9 - Application de la technique de Ressuage sur les tôles du four

❖ Contrôle par Ultrasons :

Les ultrasons sont des ondes acoustiques ou élastiques dont la fréquence est supérieure à celle des sons audibles par l'oreille humaine et inférieure aux vibrations thermiques des atomes. Les sons audibles sont compris entre 10 et 20000 Hz et la gamme de vibrations thermiques s'étend de 10^9 à 10^{13} Hz (1 GHz - 10 THz). Les fréquences utilisées lors d'examens aux ultrasons ne comprennent pas toute la gamme des ultrasons, mais varient entre 0,5 à 12 MHz.

Ils sont utilisés pour l'examen des parois métalliques dont l'épaisseur varie de 0,3 mm à plus d'un mètre. L'équipement de contrôle est montré dans la figure 2.10 suivante :



Figure 2.10 - Équipement de contrôle par ultrasons

Les ultra-sons se propagent dans la matière et se réfléchissent sur les discontinuités, ils nous permettent aussi de calculer l'épaisseur de la pièce à contrôler (figure 2.11).

Les ultra-sons émis par le palpeur pénètrent dans la paroi et se propage jusqu'à la face opposée. L'écho de retour (écho de fond) revient au palpeur lorsque le temps t s'est écoulé.

$$e = \frac{1}{2} (V \times t)$$

La connaissance de la vitesse V permet alors de réaliser des mesures d'épaisseur (e).

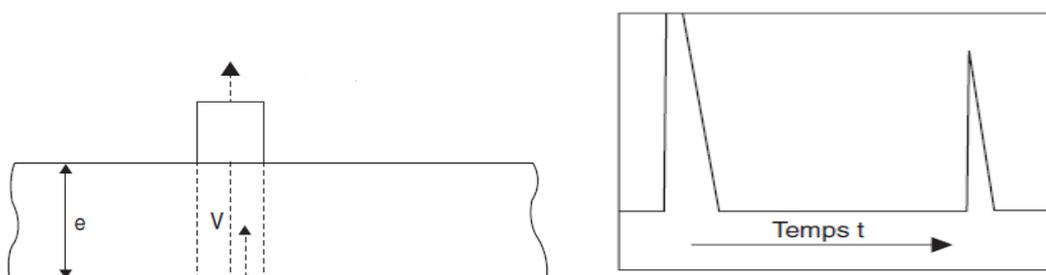


Figure 2.11 - Principe de l'ultrason

2.4. Programme d'inspection :

L'inspection de tous les éléments du Four de Rebouillage H-201 se fait tous les trois (03) ans et elle est programmée comme suit :

- ✓ Inspection visuelle externe ;
- ✓ Inspection visuelle interne ;
- ✓ Relevés des épaisseurs ;
- ✓ Inspection visuelle des massifs des équipements du train.
- ✓ Epreuves Hydrostatiques tous les dix (10) ans (révision décennale) ;

Cette révision se déroule en présence d'un inspecteur de l'organisme ENACT pour les visites internes et externes des équipements et d'un représentant de la Directeur des mines et de l'industrie (DMI) de la wilaya de Laghouat pour l'assistance aux épreuves hydrostatiques décennales.

2.5. Organisme d'inspection ENACT :

- **Dénomination sociale :**

L'Entreprise Nationale d'Agréage et de Contrôle Technique est une entreprise publique économique dénommée par abréviation «**ENACT /SPA**» [ENACT, 2015].

- ✓ **Avec un capital Social : 25.000.000 DA**

- **Historique :**

L'ENACT/Spa fut créée par décret présidentiel N°83.281 du 23 Avril 1983.

En Octobre 1989, l'Entreprise passe à l'Autonomie et devient une Entreprise Publique Économique par Acte Notarié du 8 Octobre 1989. Ses statuts connaissent une modification afin de se conformer avec le code de commerce modifié par le décret législatif N°93.08 du 29 avril 1993, [ENACT, 2015].

- **Agréments et Certifications :**

L'EPE/ENACT/Spa est agréée, dans le cadre de ses activités par les autorités compétentes suivantes :

- Agrément du Ministère de l'Énergie et des Mines pour le Contrôle Réglementaire de Sécurité des Appareils Sous Pression de Gaz (APG) et de Vapeur (APV), des Appareils Électriques (AE) et des Appareils de Levage et de Manutention (ALM) ;
- Agrément du Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire pour les Études Environnementales ;
- Agrément de l'Union Algérienne des Assureurs et des Réassureurs (UAR) pour les Expertises Martines.
- L'EPE-ENACT/Spa est membre du conseil national d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail et ce, en application du décret N° 96-209 du 05 juin 1996 fixant la composition, l'organisation et le fonctionnement de ce conseil.

- **Domaines d'activités :**

Son domaine d'activité est très vaste, citons l'activité de contrôle technique industriel qui concerne [ENACT, 2015]:

- Le suivi de réalisation de Projets et le contrôle de conformité des équipements neufs (supervision des projets et conformité des équipements neufs) ;
- Le Contrôle Non-Destructif (CND) (contrôle de la protection cathodique, contrôle par ultrasons, contrôle par magnétoscopie, contrôle par ressuage, interprétation de films radiographiques, expertises sinistres et expertise technique de matériel usagé),
- La télé- inspection (Endoscopie) ;
- La surveillance et le suivi de toute opération de construction, de fabrication, de montage, de mise en route et d'une manière générale, à l'examen de la conception des plans, calculs et spécifications, d'installation ainsi que la surveillance de la réalisation de tout projet industriel.

Et l'activité de contrôle réglementaire et de sécurité technique qui couvre :

- Le Contrôle réglementaire de sécurité (Appareils à Pression Vapeur (APV) et à Pression Gaz (APG), installations électriques, Appareils de Levage et Manutention (ALM)), conformément à la Réglementation Algérienne en vigueur ;

- Le contrôle qualité des eaux de chaudières et le tarage de soupapes.

L'EPE – ENACT/Spa, assure ses donneurs d'ordres de son professionnalisme et sa compétence prouvée dans le domaine inspection de diverses installations depuis plus de trente (30) ans et n'épargnera aucun effort afin d'établir la solidarité d'intérêt et d'action, en toute impartialité et indépendance dans la limite de son objet social et de la réglementation algérienne en vigueur.

2.6. Résultat d'inspection du Four de Rebouillage H-201 :

L'inspection effectuée en Juin 2013 des différents éléments du four par l'utilisation du contrôle visuel et le ressuage a donné les résultats suivants :

- **À L'extérieur :**

De l'extérieur cet équipement est exempt de toutes formes d'endommagement, sauf constatation de quelques fissures apparentes au niveau des tôles externes du côté nord de l'équipement, ne dépassant pas le seuil de 20 cm et qui ont fait l'objet d'une réparation adéquate.



Figure 2.12 - Tôles externe du four

- La trappe externe supérieure du four présente un endommagement de l'oreille de fermeture.



Figure 2.13 – Trappe du four

- À l'Intérieur :

✚ Pour la zone de radiation :

- Etat satisfaisant du ciment réfractaire du pourtour des brûleurs et du parterre ;



Figure 2.14 – Inspection de zone de radiation

- L'extérieur des tubes ne présente aucune déformation ni de points chauds ;



Figure 2.15 – Inspection du serpentin

- Dilatation linéaire négligeable ;
- La couverture en laine de verre de la trappe de sécurité est toujours en place et sans détérioration.
- Les brûleurs se présentent dans un état satisfaisant, ceci a nécessité juste un nettoyage.



Figure 2.16 – Inspection des Brûleurs

✚ Pour la zone de convection :

- Bon état des tubes à ailettes ;



Figure 2.17 - Inspection de zone de convection

- L'ensemble cheminée et murs recouverts par une couverture en laine de verre se présentent sans endommagement ;



Figure 2.18 – Inspection de cheminée

- Les parties des murs en ciment réfractaire demeurent sans fissurations ;
- Cet équipement a subi avec succès une épreuve hydrostatique décennale à $P = 55$ Bars, en présence d'un inspecteur de la DMI de LAGHOUAT et également d'un inspecteur de l'ENACT).

✚ **Filtre à panier du fuel gaz (PANLERM) :**

- **À l'extérieur :**

- Les parois externes de l'équipement sont en bon état aucune remarque particulière ;



Figure 2.19 - Vue extérieure du filtre à panier

- **À l'Intérieur :**

- Ses parois sont exemptes de toute corrosion ;
- La grille de filtration métallique nécessite juste un nettoyage.



Figure 2.20 – Vue d'intérieure du filtre à panier

Cet équipement a subi avec succès une épreuve hydrostatique décennale à $P = 27$ Bars, en présence d'un inspecteur de la DMI de LAGHOUAT et également d'un inspecteur de l'ENACT).

2.7. Résultat des Mesures d'épaisseur du serpentin :

Les mesures des épaisseurs relevées sur les tubes inférieurs de deux passes montrent que les valeurs sont conformes à celle originale donnée par le constructeur, qui est 7,11mm (Tableau 2.2) ;

Afin de mesurer les épaisseurs des serpentins, leur découpage côté nord du Four (la même chose pour le côté Sud) est effectué et est représenté dans la figure suivante :

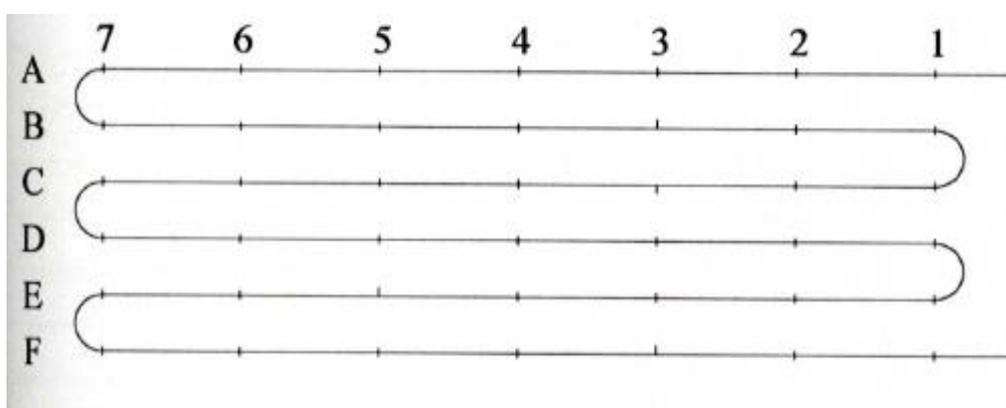


Figure 2.21 - Découpage du serpentin côté nord

Les résultats obtenus par la technique des Ultrasons sont les suivants :

Tableau 2.2 – Résultats de mesure d'épaisseurs

Point de mesure	Épaisseurs		Résultats d'Inspection		
	Initial	Limite	Juin 2007	Juin 2010	Août 2013
A-N-1	7,6	5,5	7,8	7,6	7,5
A-N-2	7,6	5,5	7,5	7,5	7,5
A-N-3	7,6	5,5	7,7	7,7	7,6
A-N-4	7,6	5,5	7,6	7,6	7,5
A-N-5	7,6	5,5	7,6	7,6	7,5
A-N-6	7,6	5,5	8,0	7,9	7,5
A-N-7	7,6	5,5	7,7	7,7	7,4
B-N-1	7,6	5,5	7,5	7,5	7,3
B-N-2	7,6	5,5	7,8	7,8	7,7
B-N-3	7,6	5,5	7,9	7,9	7,7
B-N-4	7,6	5,5	7,9	7,9	7,6
B-N-5	7,6	5,5	7,5	7,5	7,5
B-N-6	7,6	5,5	7,5	7,5	7,4
B-N-7	7,6	5,5	7,6	7,6	7,5

- ✓ On fait la même chose pour les autres points (C, D, E, F);
- ✓ On remarque à travers ces résultats que l'épaisseur augmente (à cause de dépôt de sels) et diminue (à cause de la corrosion et de l'érosion).

2.8. Solutions retenues :

1) Contrôle et suivi de la corrosion

Afin de limiter les conséquences de la corrosion des tuyauteries/équipements et de minimiser le temps d'arrêt des unités industrielles de production pour réparation, SONATRACH procède à l'injection de produits chimiques appelés inhibiteurs de corrosion au niveau de points judicieusement choisis qui sont les puits de production et l'entrée de la station Boosting qui alimente le MPP1 en gaz brut à traiter.

Ces inhibiteurs forment sur les métaux un mince film protecteur qui supprime le contact direct métal-gaz ce qui évite la corrosion.

A cet effet, SONATRACH a mis en place un comité corrosion, composé de toutes les Directions concernées par le problème, auquel ont été confiées les missions suivantes :

- ✓ Suivi de l'injection des inhibiteurs de corrosion par la fixation des quantités d'inhibiteurs à injecter et le suivi des analyses (pH de l'eau libre récupérée et teneur en fer principalement) ;
- ✓ Suivi, lors des révisions, de l'élimination des sels déposés sur les parois internes des serpentins du four. L'élimination de ces sels se fait par dissolution dans l'eau qu'on met en circulation dans le circuit (l'eau du circuit est renouvelée et sa concentration est contrôlée).

2) Inspection des serpentins en cours d'exploitation :

Pendant le fonctionnement du four, il est parfois nécessaire de contrôler l'état des serpentins pour détecter à temps les points chauds qui peuvent se former. A cet effet, le Département Inspection/Corrosion de la SONATRACH utilise une caméra à infra-rouge (IR) pour diverses applications de surveillance et de contrôle.

En effet, le rayonnement Infrarouge (IR) est invisible pour l'œil humain., mais une caméra IR peut le convertir en une image visible décrivant les variations thermiques dans un objet ou une scène. L'IR est la portion du spectre électromagnétique allant d'environ 900 à 14.000 nanomètres (0,9 à 14 μm).

Ce rayonnement est émis par tous les objets dont la température est supérieure au zéro absolu, et il augmente avec la température. Une caméra IR correctement étalonnée peut produire des images thermographiques des objets visés et des mesures exactes, sans contact, de leur température.

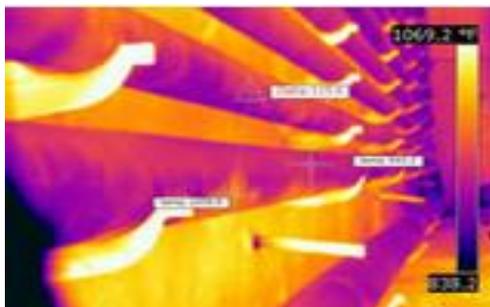


Figure 2.22 - Mesure de températures sur toute la surface du serpentin

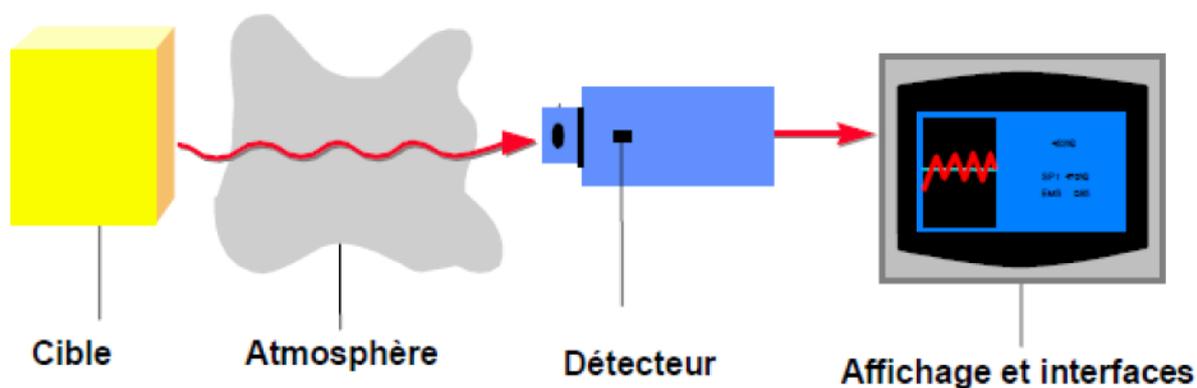


Figure 2.23 - Système de mesure par infrarouge

CONCLUSION :

L'inspection du Four de Rebouillage H-201 entre dans le cadre d'une révision triennale programmée, conformément aux exigences réglementaires régissant l'exploitation des appareils à pression de gaz (décret exécutif N°90-245 du 18/08/1990 portant réglementation des appareils à pression de gaz).

Dans le but d'assurer le bon fonctionnement du Four avant la prochaine révision triennale, l'ensemble de ses équipements a subi un nettoyage interne (pour le serpentín), une visite interne ainsi que des contrôles non destructifs nécessaires.

Grâce au plan de maintenance et d'inspection adoptés par le MPP1, les résultats de cette inspection confirment que ce four est en bon état sauf pour quelques éléments qui nécessitent une légère réparation.

Conclusion générale :

L'inspection, en marche mais aussi à l'arrêt d'une installation après un certain nombre d'années de fonctionnement (on parle d'inspections Triennale et Décennale), est une activité permanente et réglementaire qui doit être gérée avec un haut niveau de qualité vis-à-vis de la sûreté et tout le long de sa vie.

Cette étude nous a permis de prendre connaissance des méthodes utilisées par le service inspection de Hassi R'mel pour la vérification de l'état de sécurité de tout le système (H-201) à tout moment et des mesures à entreprendre pour limiter les conséquences de la corrosion des tuyauteries/équipements afin de minimiser le temps d'arrêt des unités industrielles de production pour réparation.

L'inspection du Four de Rebouillage H-201 qui a été présentée entre dans le cadre d'une révision triennale programmée, les résultats de cette inspection montrent que le four est en bon état sauf pour quelques éléments qui nécessitent une légère réparation.

Bibliographie

D

[DT 32, 2008] Document DT. Guide pour l'établissement Des plans d'inspection (périodicités IP et RP 5 et 10 ans). [document électronique]. Paris, Rèv 2, 2008, <http://www.ufip.fr/uploads/img/DT%2032.pdf>

E

[ENACT, 2015] Entreprise Nationale d'Agréage et de Contrôle Technique. Le contrôle règlementaire de sécurité des unités au sein des établissements hospitaliers, journée de sensibilisation à la sécurité au sin des infrastructures sanitaire. [document électronique]. Algérie, 2015, file:///C:/Users/Amaria/Desktop/Communication%20du%20repr%C3%A9sentant%20de%20l'enact.pdf.

I

[IIC, 2013] Inspections des Installations Classée. Prévention des risques et lutte contre incendie. . [document électronique]. Paris, 2013, <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/Les-equipements-sous-pression-ESP,14623.html>

P

[Procaccia & Morilhat, 1996] Procaccia H., Morilhat P., 1996. Fiabilité des structures des installations industrielles, Théorie et application de la mécanique probabiliste. Eyrolles.

R

[Rapport d'inspection équipement SONATRACH, 2013] A-MIS, Advanced Maintenance Inspection Support System, N° Rég. DNV: 128ZHSG-10 Rapport EP002720 – N° 6, 2010.

Glossaire

- **Tuyauterie** (Réf. décret 99-1046):

Selon le décret 99-1046, on entend par tuyauterie des composants de canalisation, destinés au transport des fluides, lorsqu'ils sont raccordés en vue d'être intégrés dans un système sous pression.

Les tuyauteries comprennent notamment un tuyau ou un ensemble de tuyaux, le tubage, les accessoires de tuyauterie, les joints d'expansion, les flexibles ou, le cas échéant, d'autres composants résistant à la pression.

- **Plan d'inspection :**

Tout document qui définit l'ensemble des opérations prescrites pour assurer la maîtrise de l'état et la conformité dans le temps d'un équipement ou d'un groupe d'équipements soumis à surveillance.

- **Programme d'inspection:**

Tout échéancier définissant, sur une période pluriannuelle, pour les équipements concernés, les dates et type de visite ou d'inspection à effectuer.

- **Contrôle Non Destructif** (Techno-science) :

Le Contrôle Non Destructif (C.N.D.) est un ensemble de méthodes qui permet de caractériser l'état d'intégrité de structures industrielles, sans les dégrader, soit au cours de la production (les pièces qui sortent des fonderies ne sont jamais exemptes de défaut), soit en cours d'utilisation (apparition de défaut).

- **Appareils à Pression de Gaz :**

Désigne l'ensemble des appareils destinés à la production, la fabrication, l'emmagasiner ou la mise en œuvre, sous une pression supérieure à la pression atmosphérique, des vapeurs ou gaz comprimés, liquéfiés ou dissous. Les tuyauteries et accessoires de sécurité en font également partie.

- **Actions de surveillance :**

Action de surveiller, de contrôler le déroulement d'une action, ou de veiller sur quelque chose.

- **Opérations de maintenance (Réf. AFNOR) :**

La maintenance regroupe les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

- **Erosion :**

L'érosion est un phénomène physique caractérisé par la dégradation continue d'un solide par abrasion.

- **Corrosion :**

La corrosion d'un matériau correspond à sa dégradation, elle peut avoir des causes mécaniques comme des frottements ou des causes chimiques. A l'air libre les métaux sont en présence de dioxygène, d'eau, de dioxyde de carbone et de gaz polluants qui peuvent provoquer une transformation chimique dont le métal est l'un des réactifs. Ce dernier est alors consommé tandis que se forment le ou les produits.

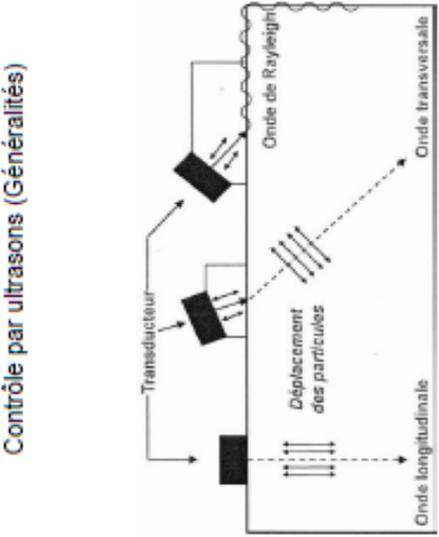
- **Inspections périodiques :**

Elle comprend une vérification extérieure, des accessoires de sécurité et pour les récipients et générateurs de vapeur une vérification intérieure.

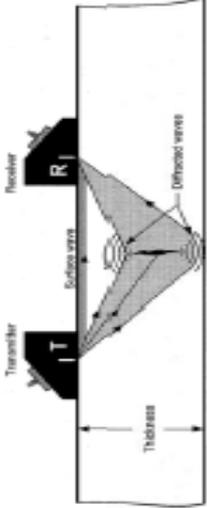
- **Requalifications périodiques :**

Elle comprend dans le cas d'épreuve, outre l'épreuve hydraulique, l'inspection systématique des équipements et des documents les concernant avant épreuve et la vérification des accessoires de sécurité mais peut être effectuée selon d'autres techniques de contrôle pour autant qu'elles présentent un niveau de sécurité au moins équivalent.

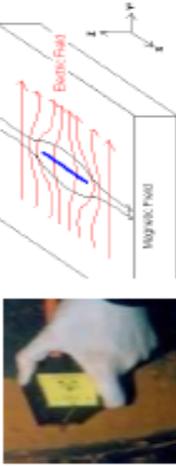
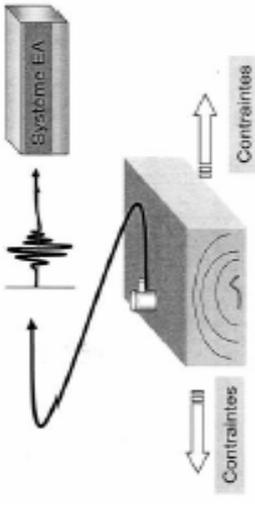
Annexes

Définition	Remarque / Description	Domaine d'application
<p>Examen visuel</p>	<p>L'examen visuel est le plus simple et le premier des procédés de contrôle et doit précéder tout autre type d'investigation. Il consiste à examiner à l'œil nu dans des conditions d'éclairage satisfaisantes et à la distance appropriée la surface des matériaux, soudures, équipements...préalablement nettoyée si besoin. Il peut être complété par l'utilisation de moyens optiques : loupe, binoculaire, endoscope,</p>	<p>Sans limitation, sur toute partie externe et interne accessible</p>
<p>Contrôle par ultrasons (Généralités)</p> 	<p>Les ultrasons sont émis au moyen de transducteurs (ou palpeurs) contenant un élément piézoélectrique qui transforme un courant électrique alternatif en oscillations mécaniques.</p> <p>En présence de variations des caractéristiques du milieu, les ondes voient leur propagation perturbée selon les lois de la réflexion – réfraction – absorption : l'onde incidente arrivant à l'interface entre 2 milieux, transmet une partie de son énergie au second milieu et en réfléchit une partie dans le premier.</p> <p>Les ultrasons, aux fréquences utilisées (1 à 10 MHz) ne se propagent pas dans l'air. Cette particularité est exploitée lorsque l'onde rencontre un défaut (fissure, inclusion...) ou l'autre face de la pièce.</p> <p>En revanche, pour assurer leur passage entre le transducteur et la pièce à contrôler, il faut placer entre les deux un milieu dit de couplage : graisse, huile, gels spéciaux...</p> <p>La méthode la plus usuellement employée est la méthode "par réflexion" qui n'utilise qu'un seul transducteur jouant simultanément le rôle d'émetteur et de récepteur.</p> <p>Le contrôleur analyse la propagation et doit pouvoir distinguer les échos provenant de la géométrie de la pièce (face opposée, etc.) des échos pouvant provenir d'une anomalie. L'amplitude des signaux d'échos est en relation avec le pouvoir réfléchissant du réflecteur et dépend de diverses caractéristiques : nature, grandeur, forme, orientation...</p> <p>La position et l'amplitude d'un écho ne permettent l'interprétation que si l'appareil est convenablement réglé et son bon fonctionnement vérifié périodiquement. L'amplitude d'un écho n'est jamais mesurée en absolu mais toujours comparée à l'amplitude de l'écho d'un réflecteur bien défini (bloc étalon, défaut type connu...)</p>	<p>Voir les différentes méthodes</p>

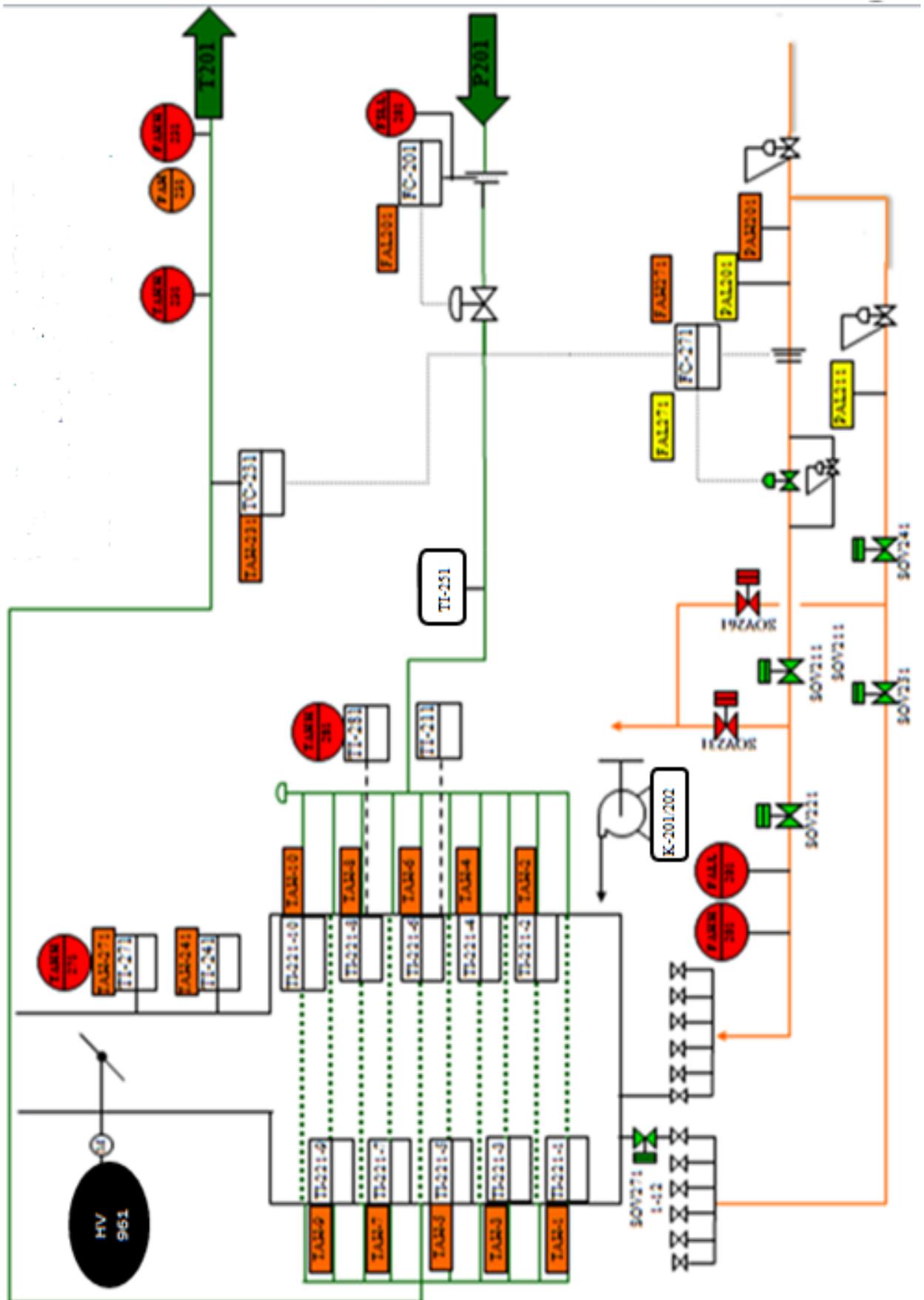
Annexe A : Description succinct des principales techniques de contrôle [DT 32, 2008]

<p>Contrôle par ultrasons (ondes longitudinales)</p> 	<p>L'onde ultrasonore longitudinale traverse le matériau perpendiculairement à sa surface et est réfléchi par l'autre face. Le temps mis par l'onde pour parcourir l'aller-retour permet de calculer l'épaisseur.</p> <p>La méthode permet également la détection de défauts plans sensiblement parallèles à la surface (dédoublures)</p> <p>Tenir compte des protections anti-corrosions sur chacune des faces</p>	<p>Mesure d'épaisseur de nombreux types de matériaux</p> <p>Recherche de corrosions</p> <p>Applicable sur tous les éléments de la tuyauterie</p> <p>A réserver aux diamètres > 1"</p> <p>Détection de délaminages.</p>
<p>Contrôle par ultrasons (ondes transversales)</p>	<p>En raison de la forme des assemblages soudés et de l'orientation la plus fréquente des défauts (fissures, manques de liaison) qui sont susceptibles d'être rencontrés, le contrôle par ultrasons des soudures est généralement effectué au moyen d'un faisceau d'ondes transversales obliques (palpeurs d'angle)</p>	<p>Essentiellement contrôle des soudures.</p>
<p>Contrôle par ultrasons (TOFD)</p> 	<p>Cette méthode utilise les échos de diffraction générés aux extrémités des défauts pour détecter et déterminer la taille des défauts. Deux transducteurs sont utilisés en tandem sur la même face de la pièce à contrôler. En effet, les échos de diffraction sont moins sensibles à l'angle d'incidence sur le défaut que les échos de réflexion directe.</p>	<p>Contrôle des soudures en service : recherche de défauts de fatigue...</p>

Annexe A : Description succinct des principales techniques de contrôle (suite) [DT 32, 2008]

<p>Contrôle par ACFM (Alternating Current Field Measurement)</p> 	<p>Cette méthode est une alternative à la magnétoscopie</p> <p>Contrôle de surface d'une soudure par perte de flux magnétique associée aux courants de Foucault</p> <p>La technique consiste à générer un champ magnétique par l'intermédiaire d'un courant induit et à mesurer la perturbation de ce champ lors du passage de la sonde au voisinage d'un défaut débouchant. Cette technique de contrôle est utilisable sans contact, ni agent de couplage et en présence d'un revêtement.</p>	<p>Recherche de défauts de surface sur tout matériau magnétisable</p>
<p>Ressuage</p> 	<p>Le ressuage consiste à appliquer un liquide coloré (le pénétrant) qui pénètre dans les défauts (fissures, porosités, piqûres...). Après un nettoyage de l'excédant, un révélateur est appliqué à son tour, qui aspire le liquide restant dans les défauts et permet ainsi de les localiser.</p> <p>La méthode ne permet de détecter que des défauts débouchant à la surface. Elle ne permet pas de les dimensionner précisément.</p>	<p>Toute surface non excessivement poreuse ou rugueuse</p> <p>Pour les matériaux plastiques, s'assurer de la compatibilité des produits</p>
<p>Emission acoustique</p> 	<p>L'émission acoustique permet la détection des ondes ultrasonores qui résultent d'une libération d'énergie accompagnant l'évolution d'un endommagement (plastification, propagation de fissure, corrosion) ou l'activité d'un autre processus irréversible (fuite...). Ces ondes sont détectées par les capteurs installés sur la tuyauterie. Le traitement des informations fournies par les capteurs localise les sources génératrices de bruits.</p> <p>Elle ne détecte que des processus actifs et est donc adaptée à la surveillance (Monitoring).</p> <p>Des contrôles complémentaires sont nécessaires pour caractériser les sources émissives.</p>	<p>Détection de défauts évolutifs lors de chargement exceptionnel, Détection de fuites, Détection de corrosions actives.</p>

Annexe A : Description succinct des principales techniques de contrôle (suite) [DT 32, 2008]



Annexe B : Diagramme de canalisation & d'instrumentation

