

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET METALLURGIE

ENSMM-annaba-



DÉPARTEMENT SCIENCE ET GÉNIE DES MATÉRIAUX

Mémoire de fin d'études

INGENIEUR

ETUDE DES PROBLEMES DE L'ENDOMMAGEMENT DE
L'ECHANGEUR
101 E04

Présenté(e) par : HADFI Khouloud

Encadré(e) par : Pr. CHADLI Hacene

Membres du jury : - Mme LEMBOUB Samia
- Pr. RETIMA Mohamed

Présidente
Rapporteur

Année 2015-2016

Liste des tableaux

Chapitre II: Généralité sur les l'échangeur de chaleur

Tableau II. 1: Les différents types d'élément selon TEMA	20
Tableau II. 2: La Performance de l'échangeur	22
Tableau II. 3: construction de l'échangeur E4.....	23
Tableau II. 4: les nuances des matériaux	23

Chapitre V: Résultats et discussions

Tableau V. 1: les différents passages dans le cycle de travail de l'échangeur E04	48
Tableau V. 2: les différents composants de l'acier A179	51
Tableau V. 3: les différents composants de l'alliage de Cu B111 (norme ASTM)	52
Tableau V. 4: Dureté de l'acier A179	55
Tableau V. 5: la dureté du Cupronickel	56
Tableau V. 6: les analyses de l'eau de refroidissement	57
Tableau V. 7: les différentes plages possibles pour l'indice de saturation (REZNAR).....	58
Tableau V. 8: les potentiels d'équilibre pour les deux matériaux.....	61
Tableau V. 9: Résultats potentiodynamique pour les deux matériaux (acier a faible teneur en c et le cupronickel).....	63
Tableau V. 10: Les résultats comparatifs de diagramme de Nyquist pour les deux matériaux	64

Liste des figures

Chapitre I: Présentation de l'entreprise

Figure I. 1: complexe de la raffinerie de Skikda.	3
Figure I. 2: l'organigramme de l'entreprise	4
Figure I. 3: les réservoirs sphériques et cylindriques	6
Figure I. 4: ballon de séparation.....	6
Figure I. 5: colonne C1: unité 70.	7
Figure I. 6: échangeur de chaleur de chaleur tubulaire	7
Figure I. 7: chaudière de vapeur.....	8
Figure I. 8: les différentes tuyauteries.....	8
Figure I. 9: Schéma simplifié de l'unité reforming catalytique (Reforming II).....	9

Chapitre II: Généralité sur les l'échangeur de chaleur

Figure II. 1: échangeur de chaleur unité topping	10
Figure II. 2: la circulation de deux fluides dans un échangeur à plaque.....	12
Figure II. 3: un échangeur à ailettes	13
Figure II. 4: un échangeur à spirales.	13
Figure II. 5: les différents échangeurs à bloc.	13
Figure II. 6: un échangeur double tube (liquide-liquide).....	14
Figure II. 7: Principe de circulation des fluides dans les échangeurs	15
Figure II. 8: Figure II.8 : Divers constituants d'un échangeur TEMA type AEL.....	17
Figure II. 9: le sens de circulation des produits	18
Figure II. 10: échangeur de type AES.....	21
Figure II. 11: Circulation des produits dans l'échangeur AES	22

Chapitre III: La corrosion

Figure III. 1: représente la corrosion chimique	25
Figure III. 2: la corrosion uniforme d'une chicane en acier.	27
Figure III. 3: la corrosion galvanique.	28
Figure III. 4: la corrosion par piqûres	29
Figure III. 5: la Corrosion caverneuse d'un acier allié sous un joint.	29
Figure III. 6: la Corrosion inter-granulaire	30
Figure III. 7: Principe de la corrosion sous tension : corrosion localisée assistée par la déformation	31
Figure III. 8: la Corrosion par érosion.	31
Figure III. 9: influence du PH sur la vitesse de corrosion.	32
Figure III. 10: influence d'O ₂ dissous sur la vitesse de corrosion	33
Figure III. 11: l'effet de la concentration O ₂ dissous sur la corrosion à différente température.....	34

Chapitre IV: Techniques expérimentales

Figure IV. 1: détermination de la composition chimique par le PMI	36
Figure IV. 2 : polisseuse mécanique	37
Figure IV. 3: microscope optique.....	38
Figure IV. 4: microscope électronique à balayage.....	39
Figure IV. 5: le duromètre.....	40
Figure IV. 6: schéma de la cellule utilisé pour les tracés des courbes de polarisation	41
Figure IV. 7: mesure de PH.....	42

Figure IV. 8: Détermination de la conductivité électrique.....	43
Figure IV. 9: Détermination de l'alcalinité t_a et t_{ac}	44
Figure IV. 10: détermination du TH	45
Figure IV. 11: détermination du Ca	46
Figure IV. 12: détermination du Cl	46
Figure IV. 13: détermination du Fe	47

Chapitre V: Résultats et discussions

Figure V. 1: l'encrassement au niveau de la plaque tubulaire.....	50
Figure V. 2: retubage totale en cupronickel	51
Figure V. 3: la microstructure de l'acier A179 observé par le microscope optique.....	52
Figure V. 4: microstructure de l'acier 179 observé par le MEB	53
Figure V. 5: Diagramme d'équilibre Fe-C	54
Figure V. 6: la microstructure du cupronickel observé par le microscope optique.....	54
Figure V. 7: Microstructure du cupronickel observé Par le MEB.....	55
Figure V. 8: la corrosion caverneuse par faible ions Cl^-	59
Figure V. 9: courbe de potentiel à circuit ouvert pour les deux matériaux	61
Figure V. 10: Les courbes linaires de tafel.....	62
Figure V. 11: Les Courbes de polarisation potentiodynamique pour acier a faible teneur en c et le cupronickel l $V=1Mv/s$ Eau de refroidissement.....	63
Figure V. 12: diagrammes de Nyquist comparatifs de l'acier a faible teneur en c et le cupronickel.....	64
Figure V. 13: Le circuit équivalent pour les 02 nuances	65

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Listes des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Introduction générale01

Chapitre I: Présentation de l'entreprise

I.1 Introduction et historique.....03

I.2 Organisation générale.....04

I.3 Département Technique.....04

I.4 Aperçu sur le déroulement du stage.....05

I.5 Les équipements du complexe RA1K.....05

I.6 Présentation de l'unité: d'hydrotraitement de naphta (Unité 101).....08

I.7 Les réactions qui se déroulent dans l'unité pour le traitement de naphta B.....09

Chapitre II: Généralité sur l'échangeur de chaleur

I.1 Définition.....10

II.2 Principe de fonctionnement.....10

II.3 Rôles des échangeurs.....11

II.3.1 Fonction réfrigération11

II.3.2 Fonction réchauffage.....11

II.3.3 Fonction condensation.....11

II.3.4 Fonction vaporisation.....11

II.3.5 Fonction particulière:.....11

II.4 Principaux types d'échangeurs thermiques.11

II.4.1 Les échangeurs à plaques.....11

II.4.2 Échangeur à ailettes.....12

II.4.3 Echangeur à spirales.....12

II.4.4 Echangeur à bloc.....13

II.4.5 Les échangeurs tubulaires.....	13
II.4.5.1 Echangeur double tube.....	13
II.4.5.1.1 Définition.....	14
II.4.5.2: Échangeurs à tubes et calandre.....	14
II.4.5.2.1 Définition.....	14
II.4.5.2.2 Les différents constituants de l'échangeur à tube et à calandre.....	15
II.4.5.2.2.1 Boîte d'échangeur.....	15
II.4.5.2.2.2 Calandre (ou virole).....	15
II.4.5.2.2.3 Plaques tubulaires.....	15
II.4.5.2.2.4 Tube.....	16
II.4.5.2.2.5 Chicane.....	16
II.4.5.2.2.6 Tirants et entretoises.....	16
II.4.5.2.2.7 Déflecteurs longitudinaux.....	16
II.4.5.2.2.8 Déflecteur d'entrée.....	16
II.4.5.2.2.9 Événements, vidange.....	16
II.4.5.2.3 Modes de transfert de chaleur.....	17
II.4.5.2.4 Différents types d'éléments.....	18
II.4.5.2.5 L'échangeur de type AES.....	19
II.4.5.2.6 Le rôle de l'échangeur 101 E 4 dans l'unité.....	20
II.4.5.2.7 Etat descriptif de l'échangeur 101 E4.....	21
II.5 conclusion.....	22

Chapitre III: La corrosion

III.1 Définition.....	24
III.2 la prévision de corrosion.....	24
III.3 aspect économique de la corrosion.....	24
III.4 forme de corrosion.....	25
III.4.2.1 différents types de corrosion et leurs prévention.....	26
III.4.2.2 l'effet des facteurs sur la vitesse de corrosion.....	31
III.4.2.3 contrôle de la corrosion.....	33
III.4.2.4 protection contre la corrosion.....	33
III.4.2.5 Dégradations types trouvées à l'ouverture des échangeurs.....	34
III.5 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau:.....	35

Chapitre IV: Techniques expérimentales

IV.1 La composition chimique.....	36
IV.2 L'examen métallographique	36
IV.4 Microscope électronique a balayage	38
IV.5 Caractérisations mécaniques	39
IV.6 Caractérisations électrochimiques : Les essais de corrosion	39
IV.7 Les traitements des eaux	41
IV.7.1 Détermination du PH	41
IV.7.2 Détermination de la conductivité électrique	42
IV.7.3 Détermination de l'alcalinité t_a et t_{ac}	42
IV.7.4 Détermination de TH	43
IV.7.5 Détermination du calcium et du magnésium (ca et mg)	44
IV.7.6 Détermination des chlorures (Cl^-).....	45
IV.7.7 Détermination de la silice (SiO_2)	46
IV.7.8 Détermination du fer total (Fe)	46
IV.7.9 Détermination des solides dissouts T D S.....	47

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1 Problématique.....	48
V.1.1 L'Histoire	48
V.1.2 Commentaires et Interprétations	49
V.2 La composition chimique	51
V.3 La microscopie optique	52
V.4 La dureté.....	55
V.5.1 Interprétation des résultats.....	58
V.5.2 Les facteurs influent sur la corrosion	59
V.5.3.1 Courbes potentiodynamiques : Recherche des paramètres de corrosion	60
V.5.3.1.1 Potentiel de corrosion : courbes potentiostatiques	60

V.5.3.1.2 Potentiel de corrosion : courbes potentiostatiques	61
V.5.3.1.3 impédance.....	63

Conclusion

Conclusion.....	66
-----------------	----

Liste des symboles :

MEB : Microscope électronique à balayage

ECS : électrode au calomel saturé.

TA : Le titre alcalimétrique.

TAC : Le titre alcalimétrique complet.

TH : titre hydrotimétrique.

La naphtha B traité : hydrocarbure non corrosive.

T D S : les solides dissouts.

D C O : la demande chimique en oxygène.

R1 : la résistance de solution.

R2 : la résistance de polarisation.

Abstract:

The equipment we chose to study is a heat exchanger bundle and grille types. Its role is cooling naphtha B treated flowing through the tubes before arriving at the storage tank

S-26. This brief will focus on the problems of the performance of the reforming unit 02 or is the equipment. The purpose of this study is to expand the knowledge base on damage affecting heat exchangers. For this, in both Chapter II and III, have been addressed notions about heat exchangers and corrosion associated with these types of facilities. First, we discuss the device of the heat exchanger, its operating principle and the different existing heat exchangers. We then detail the corrosion phenomenon and include various undesirable aspects of this phenomenon for a heat exchanger, which brings us to the importance of detecting corrosion in exchangers.

This theoretical study is reinforced by an experimental part conducted in the laboratories of ENSMM.

Substantially all of the experimental part given to the material is steel A179 (ASTM) B111 cupronickel (ASTM).

Our tests were limited to determining:

- The chemical composition.
- Optical micrograph and scanning electron.
- The hardness.
- The electrochemical behavior in a representative solution cooling water.
- Analysis of the cooling water composition of the exchanger.

Experimental results have led us to designate that water quality and grade of the material are the main causes of these types of damage. Following the results, the replacement of steel pipes with copper-nickel tubes proves necessary.

Introduction générale:

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), et aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.).

Malgré les grands progrès techniques dans le design des échangeurs de chaleur et les différentes méthodes chimiques et mécaniques développées pour réduire l'impact préjudiciable de l'encrassement, la corrosion ...etc. la plupart des industries souffrent toujours de perforation, des bouchages et de mauvais transfert de chaleur de leurs échangeurs en particulier l'industrie pétrolière.

Parmi les problèmes vécus au niveau de unité de Reforming 2 (au sein de la raffinerie de SKIKDA ou j'ai passé mon stage), nous avons choisi de présenter les problèmes de fonctionnement de l'échangeur 101 E4, qui réduisent considérablement les performances de l'unité.

Les phénomènes d'encrassement, le tartre et surtout la corrosion dans les échangeurs thermiques sont des sujets d'actualité. En effet l'encrassement résulte de la boue causée par des suspensions insolubles, de la rouille causée par la corrosion et pour finir d'un dépôt (du tartre). Tous ces dépôts peuvent être nettoyés à moindre coût s'ils sont pris en charge à temps. On ne peut pas se permettre non plus une fréquence de nettoyage trop grande, cela augmenterait les coûts de production des usines dues aux arrêts nécessaires au nettoyage ou par une augmentation des coûts d'entretien. Mais à l'inverse, si on ne prend pas en compte le phénomène d'encrassement dans les échangeurs thermiques, il y aura une augmentation des pertes énergétiques.

Le tartre qui se forme sous certaines conditions Baisse aussi le rendement et cause la Réduction de la productivité si on ne prend pas les mesures nécessaires.

La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. En effet, des mesures préventives prises au bon moment permettent d'éviter de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de garantir la durée de vie de l'échangeur, c'est pour cette raison que le traitement des phénomènes de corrosion occupe une grande partie dans mon travail.

Enfin on peut dire que le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres qu'on va voir par la suite car il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés.

Introduction générale

Le mémoire s'articule selon l'ordre suivant:

1) Une partie théorique:

Présente des notions fondamentales sur les échangeurs de chaleur, et des généralités sur le phénomène de corrosion.

2) Une partie expérimentale:

Des essais expérimentaux réalisés au sein des laboratoires de l'ENSMM, ont porté sur les matériaux de tube de l'échangeur.

I.1 Introduction et historique:

La transformation de pétrole brut s'effectue au niveau des complexes de raffinage, tel que le complexe de raffinage de Skikda (RA1K). Cette raffinerie est située dans la zone industrielle à 7 km à l'Est de Skikda et à 2 km de la mer, et est aménagée sur une superficie de plus de 183 hectares.

Le complexe de raffinage de Skikda a pour mission de transformer le pétrole brut provenant de Hassi Massoud (HMB) et le brut réduit importé (BRI).

La RA1K emploie à l'heure actuelle 1690 travailleurs.

La raffinerie de Skikda a été construite en Janvier 1976 à la suite d'un contrat signé le 30 avril 1974 entre le gouvernement algérien et le constructeur italien SNAM-PROGETTI et SAIPEM

Il faut noter qu'en 1989 d'autres nouvelles unités ont été réalisées par la société Japonaise J.G.C corporation en l'occurrence l'unité de prétraitement et de Reforming catalytique 2 et l'unité de traitement et de séparation des gaz, ces deux unités ont démarrées en Octobre 1993 ainsi que leurs unités d'utilités la chaudière (G4), turbo alternateur (U1050) et l'unité blinder (U600).



Figure I.1: complexe de la raffinerie de Skikda.

I.2 Organisation générale:

L'organisation générale de la raffinerie de Skikda RA1K est comme suit:

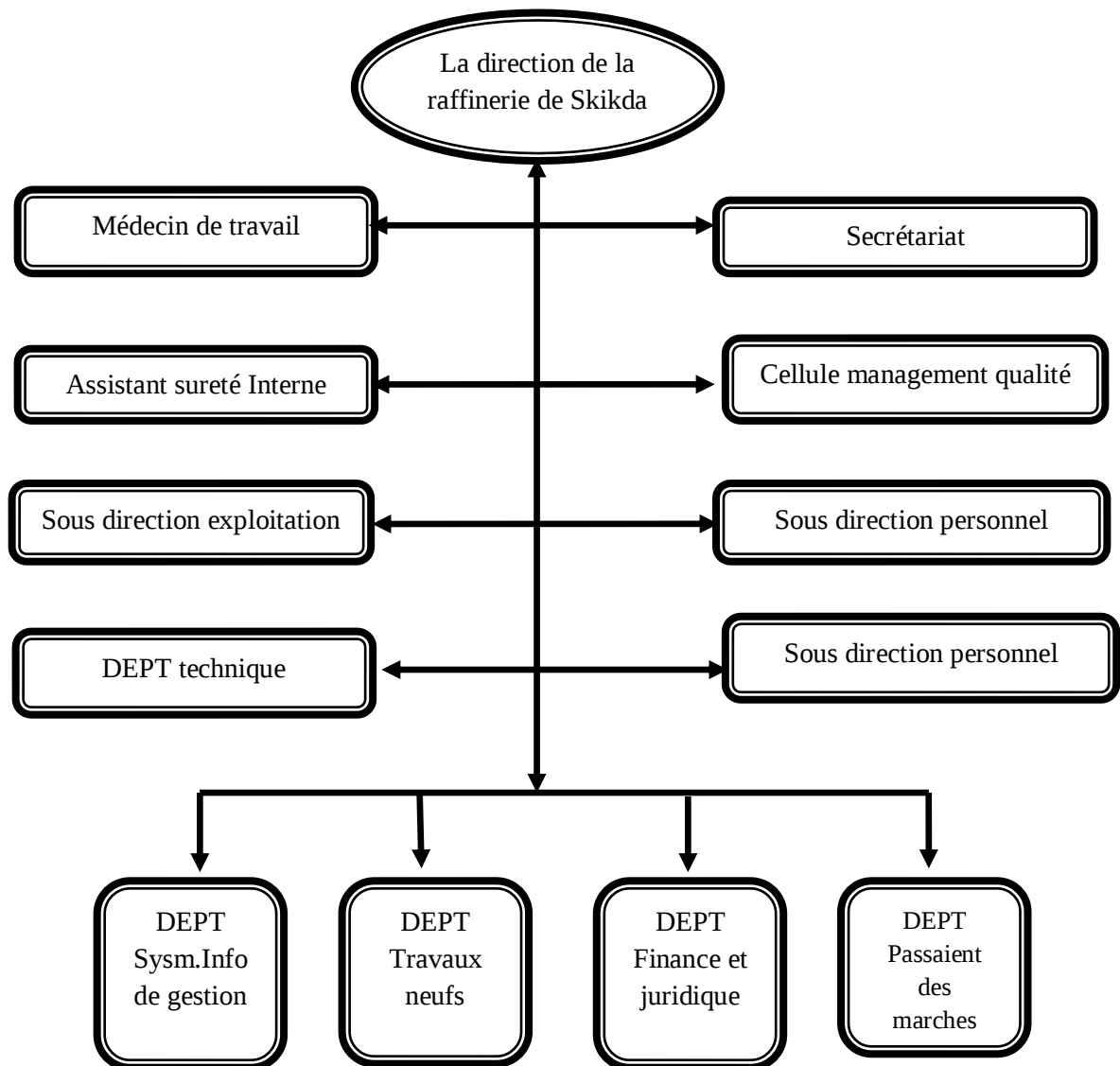


Figure. I.2: l'organigramme de l'entreprise.

I.3 Département Technique:

Le département technique comporte trois (03) services, à savoir le service de laboratoire, service inspection et service d'études. Durant mon séjour de formation à la raffinerie de Skikda, j'étais affectée au Département Technique où j'ai passé un stage au niveau du service technique inspection.

I.4 Aperçu sur le déroulement du stage:

Le service technique inspection au niveau du département technique de la raffinerie de Skikda, où j'ai passé mon stage, a pour mission principale de veiller à l'intégrité des équipements, et d'assurer quantitativement et qualitativement le déroulement des différentes tâches: de contrôles techniques et d'inspections en conformité technique, procédurales, normatives et réglementaire, en vue d'assurer l'intégrité des installations et équipements et prendre les mesures techniques nécessaires pour lutter contre les dégradations de tous types y compris celles entraînées par le phénomène de corrosion.

Pour assurer l'intégrité des équipements installés au niveau du complexe RA1K, le service inspection technique est en partie chargé d'assurer les travaux d'inspection, contrôles techniques et suivi des dossiers techniques en conformité avec les aspects engineering de base, normes, procédures, et règlements en vigueur.

Les inspections et visites de routines sont quotidiennement réalisées, en collaboration avec les chefs des unités de production.

Par contre les travaux programmés durant ou hors des arrêts programmés, sont réalisés selon un planning préétabli en collaboration avec les structures de la maintenance et production,

Le service techniques inspection, est parfois appelé à participer dans l'Engineering de certains équipements (nouveaux ou anciens), à donner des avis et commentaires techniques, d'assurer l'assistance technique et de faire sortir tout écart par rapport aux plans, spécifications, procédures, normes et règlements en vigueur, et cela dans le but de résoudre et éliminer en toute conformité les écarts techniques enregistrés.

Durant mon stage, j'ai eu la chance de découvrir le milieu de l'industrie du pétrole et en particulier son raffinage, tout en se penchant sur les matériaux (aciers) qui ont été utilisés pour la construction du complexe de la raffinerie de Skikda

I.5 Les équipements du complexe RA1K:

I.5.1 Les réservoirs:

Ils sont de deux types:

I.5.1.1 Réservoir de forme cylindrique (aérien):

- Les réservoirs à toit fixe en forme de dôme (DRT).
- Les réservoirs à toit fixe avec écran flottant à l'intérieur (IFRT).
- Les réservoirs à toit flottant (FRT simple pont et double pont).

I.5.1.2 Réservoirs sphériques:

- Capacités sphérique adaptées pour le stockage des gaz sous pression comme le butane (C_4H_{10}).



Figure I.2: les réservoirs sphériques et cylindriques.

I.5.2 Les fours:

02 types de fours existent: four cathédrale et four de type cylindrique

I.5.3 Les ballons:

Des ballons de type horizontale et de type verticale



Figure I.3: ballon de séparation.

I.5.4 Les collons:

Les collons a plateau et les colons garnissage



Figure I.4: colonne C1: unité 70.

I.5.5 Les échangeurs:

Il existe plusieurs types d'échangeurs dans le complexe RA1K tels que:

- 1) Echangeurs tubulaires de type faisceau-calandre: Les condenseurs et les échangeurs calorifugés
- 2) Les aéroréfrigérants.



Figure I.5: échangeur de chaleur de chaleur tubulaire.

I.5.6 Les chaudières:

Conçu pour la production de la vapeur destiné pour la bonne marche de l'équipement



Figure I.6: chaudière de vapeur

I.5.7 Les pipelines:

Assurer l'écoulement durant le transfert d'une quantité de fluide entre deux points d'une installation.



Figure I.7: les différentes tuyauteries

I.6 Présentation de l'unité: d'hydrotraitement de naphta (Unité 101):

L'unité est conçue pour produire la charge prétraitée de naphta pouvant être transformé ultérieurement dans l'unité de Platforming, ayant une capacité d'approvisionnement du Plateforme de 30.000 BPSD.

L'unité 101 se compose principalement d'un réchauffeur de charge, d'un réacteur, de compresseurs de recyclage, de compresseurs de gaz d'appoint, d'une colonne de stripper, d'échangeurs de chaleur, de pompes, etc.

L'unité est conçue pour le traitement de mélanges de naphta "B" (30% vol.) et de naphta "C" (70% vol.) produits par l'unité de distillation de pétrole brut existante (Unité 10) et passant par les réservoirs de stockage S-201 et S-202 qui sont en construction pour la nouvelle unité.

L'unité est aussi capable de traiter du naphta "B" seul.

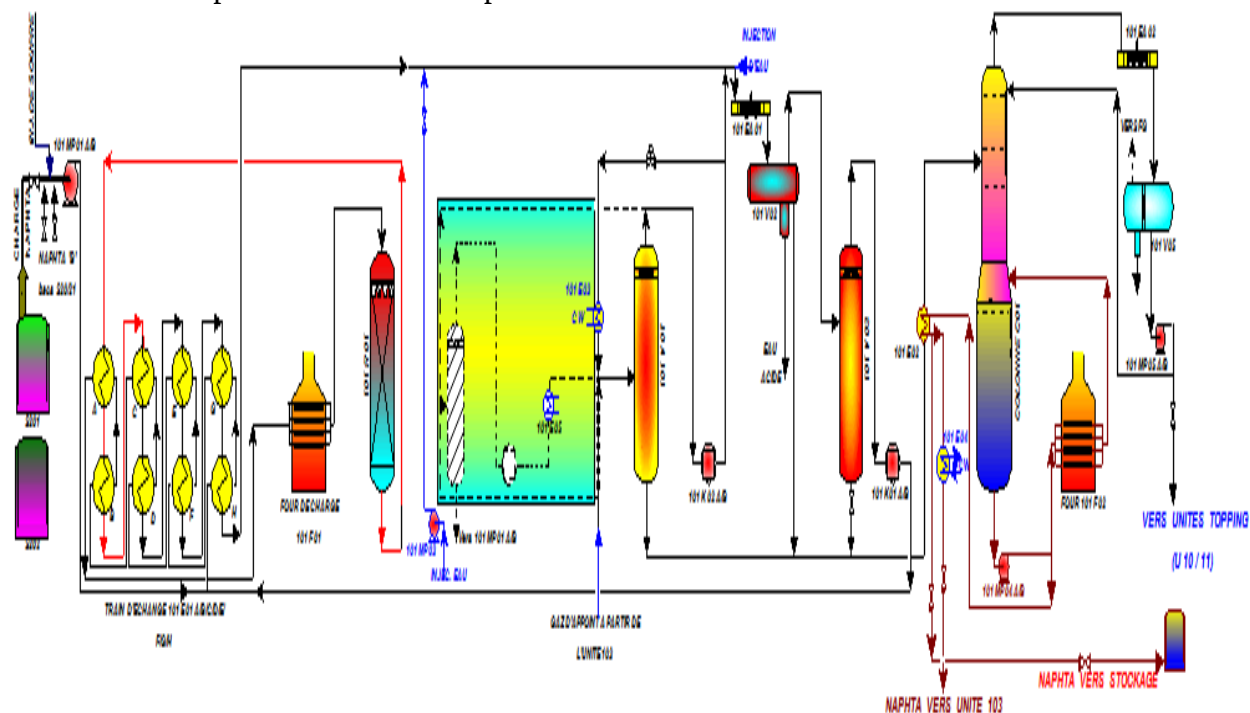


Figure I.8: Schéma simplifié de l'unité reforming catalytique (Reforming II)

I.7 Les réactions qui se déroulent dans l'unité pour le traitement de naphta B :

L'objectif principal de l'unité de prétraitement de naphta (hydro-traiteur) consiste à épurer la fraction du naphta pour que celui-ci puisse être utilisé comme charge à l'unité de Platforming.

Voici les six types de réactions de base qui se déroulent dans l'unité d'hydrotraitement:

- Conversion des composés de soufre organique en sulfures d'hydrogène.
- Conversion des composés d'azote organique en ammoniac.
- Conversion des composés d'oxygène organique en eau.
- Saturation des oléfines.
- Conversion des halogénures organiques en halogénures d'hydrogène.
- Elimination des composés organométalliques.

I.8 Conclusion:

Suite aux différents problèmes de fonctionnement vécus au niveau de l'unité Reforming 2 les utilisateurs des équipements trouvent que ces problèmes ont été enregistrés plus précisément au niveau d'un refroidisseur de la solution naphta B traitée : un mauvais transfert de chaleur a été détecté.

Pendant la période de stage d'une durée de 03 mois, nous sommes intéressés aux problèmes de l'endommagement d'un échangeur de chaleur.

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

II.1 Définition:

Dans l'industrie , on doit très souvent réaliser un transfert de chaleur entre un fluide chaud et un fluide froid qui ne doivent pas être mis en contact . Cette opération est généralement effectuée dans des appareils où les deux fluides circulent de part et d'autre des parois solides.ces appareils sont appelés échangeurs de chaleur.

Les échangeurs de chaleurs sont des équipements permettant de transférer de la chaleur entre deux fluides à des températures différentes. Dans la plupart des cas, les deux fluides ne sont pas en contact, et le transfert s'effectue à travers une surface d'échange. Au sein de la paroi séparatrice, le mécanisme de transmission de la chaleur est la conduction, et, sur chacune des deux surfaces de contact avec les fluides, ce sont presque toujours les phénomènes de convection qui prédominent.

[1]



Figure II.1: échangeur de chaleur unité topping

II.2 Principe de fonctionnement:

Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides a travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manier générale les deux fluides sont mis en contact thermique a travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleurs. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid. En d'autres termes le fluide chaud se refroidit au contact du fluide froid et le fluide chaud se réchauffe au contact du fluide froid. Les deux fluides échangent de la chaleur a travers la paroi d'où le nom de l'appareil

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

On le voit le principe général est simple mais il donne lieu a un grand nombre de réalisations différents par la configuration géométrique. Le principal problème consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée. La quantité de chaleur transférée dépend de la surface d'échange [2]

II.3 Rôles des échangeurs:[3]

II.3.1 Fonction réfrigération:

Réfrigérant (cooler) : il refroidit un liquide ou un gaz par circulation d'un fluide auxiliaire, généralement de l'eau.

II.3.2 Fonction réchauffage:

Réchauffeur (heater) : il réchauffe également un fluide de procédé mais le terme s'emploie surtout pour désigner l'appareil qui réchauffe un produit stocké généralement pour assurer sa pompabilité.

II.3.3 Fonction condensation:

Condenseur (condenser) : il assure la condensation totale (total condenser) ou partielle (Partial condenser) de vapeur par circulation d'eau ou d'un fluide de procédé suffisamment froid.

Aérocondenseur : il a la même fonction que le précédent en utilisant l'air comme fluide froid.

(Subcooler) : il assure simultanément la condensation de vapeur et le refroidissement des généralement condensats par circulation d'eau.

II.3.4 Fonction vaporisation:

Vaporiseur (vaporizer) : il assure la vaporisation totale ou partielle d'un liquide de procédé, l'apport de chaleur étant fait par de la vapeur d'eau ou un fluide chaud de procédé éventuellement en condensation.

II.3.5 Fonction particulière:

Évaporateur (evaporator) : terme plutôt utilisé pour désigner l'appareil qui concentre des solutions aqueuses par évaporation d'eau ; cependant il peut désigner aussi un vaporiseur et un chiller.

Quelle que soit leur fonction, le principe de fonctionnement de tous ces appareils est celui des échangeurs de chaleur par surface interposée entre deux fluides et mettant en œuvre la transmission par conduction et convection simultanées. Par ailleurs, la façon d'organiser la circulation des fluides de chaque côté de la paroi conditionne leur performance.

II.4 Principaux types d'échangeurs thermiques:

Il existe différents types d'échangeurs thermique dans l'industrie parmi eux on a:

II.4.1 Les échangeurs à plaques:

L'échangeur à plaques est un type d'échangeur de chaleur qui connaît un usage croissant dans l'industrie. Il est composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres), au travers desquelles s'effectue le transfert de chaleur entre deux fluides, l'un circule dans les conduits pairs et l'autre dans les conduits impairs. Le périmètre des plaques est bordé d'un joint qui permet par compression de la structure d'éviter les fuites. L'échangeur à plaques ne peut pas toujours être utilisé pour les températures élevées et les fortes pressions.[4]

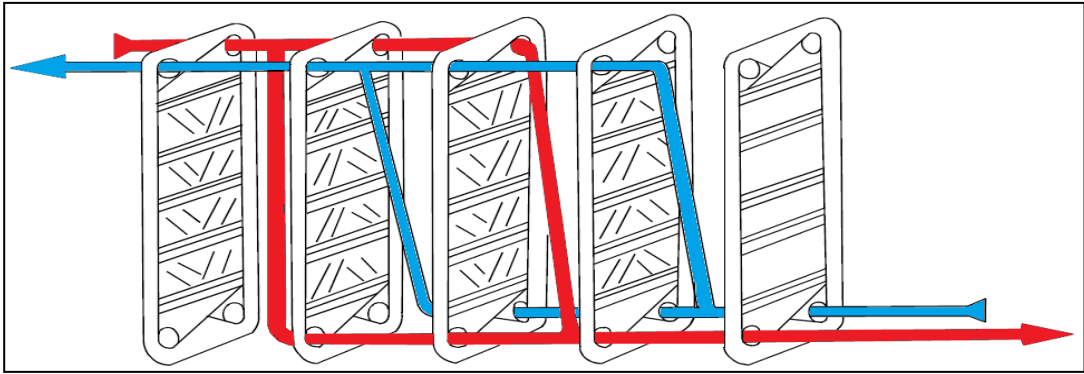


Figure II.2: la circulation de deux fluides dans un échangeur à plaque.

II.4.2 Échangeur à ailettes:

Un échangeur à ailettes est un échangeur relativement simple ; il consiste en un conduit cylindrique ou rectangulaire sur lequel sont fixées des lames métalliques de différentes formes. Le fluide de refroidissement est en général l'air ambiant. La chaleur est transférée du fluide chaud circulant dans le conduit principal aux lames métalliques par conduction thermique ; ces lames se refroidissent au contact de l'air. Ce type d'échangeur est utilisé pour le chauffage dans les bâtiments : de l'eau est chauffée dans l'installation de chauffage et circule dans des radiateurs qui sont des échangeurs à ailettes.



Figure II.3 : un échangeur à ailettes.

II.4.3 Echangeur à spirales:

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

Un échangeur est constitué de deux bandes métalliques séparées par des entretoises (pions) et enroulées de façons à constituer un corps spiral à double canal.

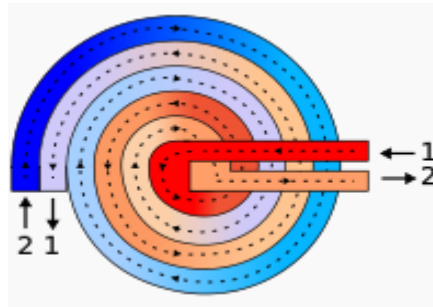


Figure II.4 : un échangeur à spirales.

II.4.4 Echangeur à bloc:

L'échangeur à bloc est un type d'échangeur de chaleur réservé à des applications particulières. Il consiste en un bloc d'une matière thermiquement conductrice percé de multiples canaux dans lesquels circulent les 2 fluides. Le bloc est le plus souvent composé de graphite additionné parfois de polymères pour améliorer les propriétés mécaniques de l'échangeur. Le bloc est placé dans une structure qui assure la distribution des liquides dans les canaux.

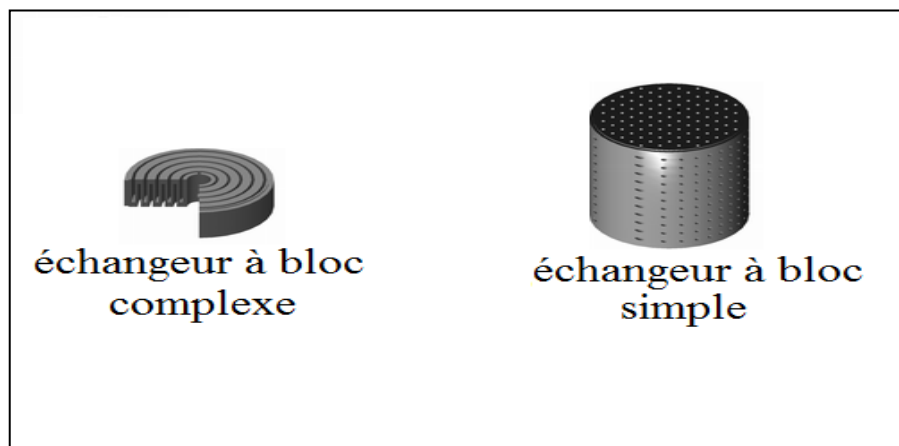


Figure II.5: les différents échangeurs à bloc.

II.4.5 Les échangeurs tubulaires:[5]

Les échangeurs tubulaires peuvent être utilisés pour effectuer des transferts de chaleur entre deux fluides ne subissant pas de changement de phase, mais aussi pour condenser une vapeur ou évaporer un liquide. On distingue plus souvent:

II.4.5.1 Echangeur double tube:

II.4.5.1.1 Définition:

Ces échangeurs sont constitués par des éléments rectilignes de deux tubes concentriques raccordés à leurs extrémités par des coudes. Les divers éléments sont tous assemblés par des raccords à démontage rapide, et le remplacement des tubes est possible. Les problèmes de dilatation thermique et d'étanchéité entre le tube intérieur et le tube extérieur sont résolus par l'utilisation de presse étoupe ou de joint torique



Figure II.6: un échangeur double tube (liquide-liquide).

II.4.5.2: Échangeurs à tubes et calandre:

II.4.5.2.1 Définition:

C'est de loin le type d'échangeur le plus répandu mais la part qu'il représente ne cesse de diminuer au profit de configurations plus efficaces. Dans ce type d'échangeurs, l'un des fluides circule dans un réservoir autour de tubes qui le traversent tandis que l'autre fluide circule à l'intérieur des tubes. Le modèle le plus simple sera constitué d'un réservoir dans lequel sera plongé un serpentin.

Le modèle le plus courant est constitué d'un faisceau de tubes traversant un réservoir de manière longitudinale. On parle alors d'échangeur multitubulaire. Des parois bien placées permettent de forcer la circulation du fluide à travers les tubes de manière à ce qu'il effectue un ou même plusieurs allers-retours.

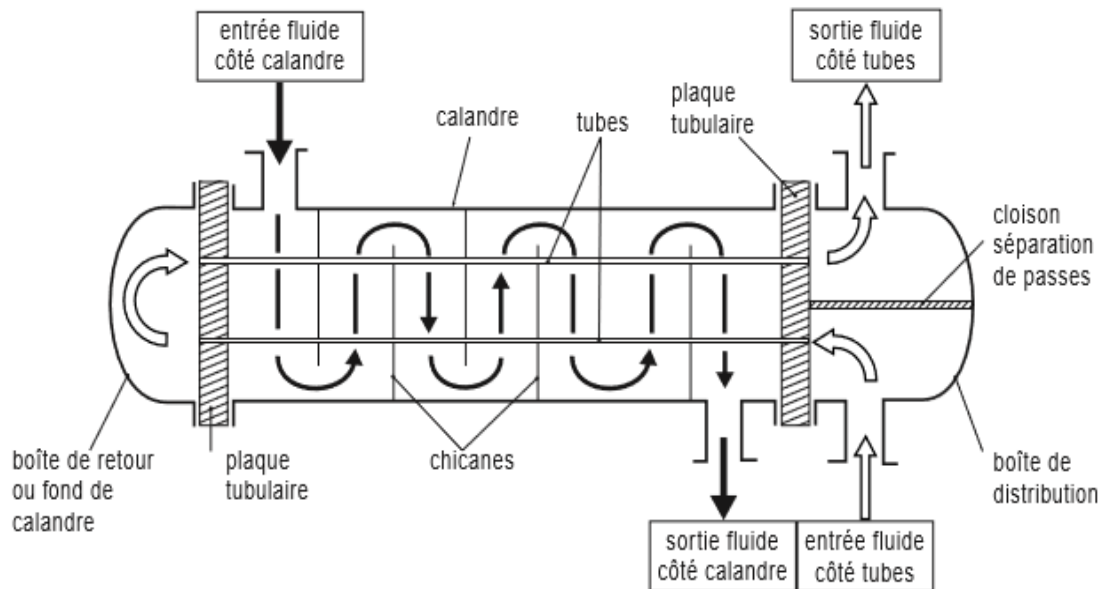


Figure I.7: Principe de circulation des fluides dans les échangeurs [6]

II.4.5.2.2 Les différents constituants de l'échangeur à tube et à calandre:[5]

II.4.5.2.2.1 Boîte d'échangeur:

C'est l'organe qui distribue ou recueille le fluide aux extrémités des tubes. Sauf pour le tube en U, il y a une boîte à chaque extrémité de l'échangeur. La disposition des boîtes dépend non seulement du type choisi mais aussi du nombre de passes. La liaison cloison-plaque tubulaire est en général assurée par un joint. Les boîtes sont le plus souvent réalisées avec un matériau peu différent de celui des tubes.

II.4.5.2.2.2 Calandre (ou virole):

C'est l'enveloppe métallique cylindrique entourant le faisceau tubulaire. Son matériau doit être compatible avec le fluide utilisé.

Les matériaux les plus courants sont les aciers ordinaires, les aciers inoxydables, le cuivre ou les matières plastiques. Il semble que la limite technologique des calandres se trouve aux alentours d'un diamètre de 2 m. Certains très gros condenseurs sous vide sont réalisés avec une calandre parallélépipédique (solution d'ailleurs favorable pour limiter les pertes de pression en entrée) ; ils sortent alors du cadre du code TEMA.

II.4.5.2.2.3 Plaques tubulaires:

Ce sont des plaques percées supportant les tubes à leurs extrémités. Leur épaisseur (5 à 10 cm) est calculée en fonction de la différence de pression entre le fluide dans la calandre et le fluide dans les boîtes d'une part, des contraintes dues aux différences de dilatation entre les tubes et la calandre d'autre part. Les plaques tubulaires peuvent être en acier ordinaire, en acier spécial massif. Un plaquage, en acier inoxydable par exemple.

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

Les tubes peuvent être fixés à la plaque tubulaire par dudgeonnage ou par soudure, quelquefois aussi par dudgeonnage allié à une soudure qui sert alors simplement à assurer l'étanchéité

II.4.5.2.2.4 Tube:

Ce sont généralement des tubes normalisés dont le diamètre annoncé correspond exactement au diamètre extérieur (à la différence des tubes utilisés en tuyauterie).

Ces tubes sont généralement de longueur standard 2,44 ; 3,05 ; 3,66 ; 4,88 ou 6,10 m. Le démontage du faisceau de tubes est de plus en plus difficile au fur et à mesure que sa longueur s'accroît (problème de rigidité du faisceau).

II.4.5.2.2.5 Chicane:

Elles ont pour rôle d'augmenter la vitesse du fluide dans la calandre et la rigidité du faisceau. Dans le cas d'un transfert de chaleur sans changement de phase, il est intéressant d'augmenter la vitesse du fluide pour améliorer le coefficient d'échange.

II.4.5.2.2.6 Tirants et entretoises:

Ce sont des dispositifs ou équivalents assurant la liaison du système de chicanes, qui ont pour objet de maintenir les chicanes et les plaques supports solidement en place. Les tirants et entretoises doivent être du même matériau que la calandre.

II.4.5.2.2.7 Déflecteurs longitudinaux:

Entre les tubes périphériques et la calandre subsiste nécessairement un vide non négligeable. Une part importante du fluide peut alors contourner le faisceau (phénomène de by-pass) et ne pas participer à l'échange de chaleur, ce que l'on atténue en utilisant des déflecteurs longitudinaux. Ceux-ci peuvent aussi servir au guidage du faisceau lors du montage.

II.4.5.2.2.8 Déflecteur d'entrée:

Il sert à protéger, dans certains cas, le faisceau contre l'impact du fluide entrant ; il est nécessaire pour :

- les vapeurs saturées ;
- les mélanges diphasiques ;
- tout fluide homogène non corrosif, non abrasif.

II.4.5.2.2.9 Événements, vidange:

Dans la conception d'un échangeur devant réchauffer ou refroidir du liquide, il faut s'assurer qu'aucune poche de gaz ne peut stagner et ainsi diminuer la surface efficace. Il est donc nécessaire de prévoir des piquages d'événements et de vidange

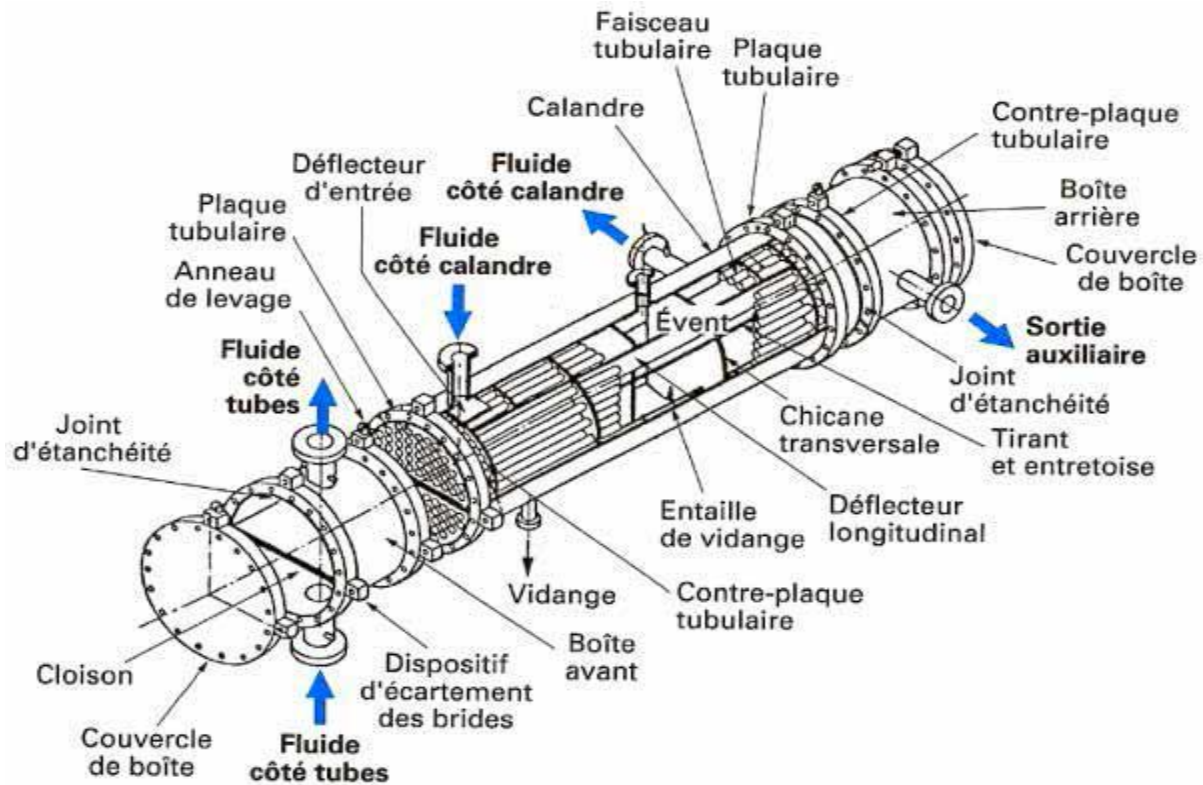


Figure II.8 : Divers constituants d'un échangeur TEMA type AEL

II.4.5.2.3 Modes de transfert de chaleur:

- **À Co-courant:** (on dit aussi : échangeur anti-méthodique) : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens. Dans un échangeur anti-méthodique la température de sortie du fluide froid est nécessairement moins élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- **À contre courant:** (on dit aussi : échangeur méthodique) : idem, mais les courants vont dans des sens opposés. Dans un échangeur méthodique, par différence avec un échangeur anti-méthodique la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- **À courant croisé:** les deux fluides sont positionnés perpendiculairement.
- **À tête d'épingle:** un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Cette configuration est comparable à un échangeur à courant parallèle sur la moitié de la longueur, et pour l'autre moitié à un échangeur à contre courant.
- **A contact direct ou à mélange :** les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, des buses projetant de l'eau chaude sont disposées sur les parois intérieures de la tour, l'air extérieur admis par le bas s'échauffe et du fait de son changement de densité monte de bas en haut, permettant ainsi de refroidir l'eau.

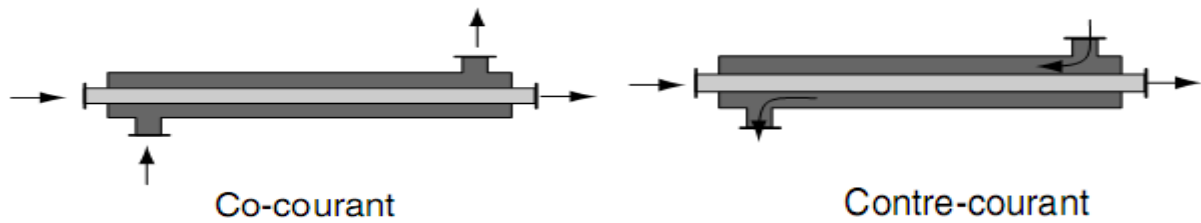


Figure II.9: le sens de circulation des produits

II.4.5.2.4 Différents types d'éléments:

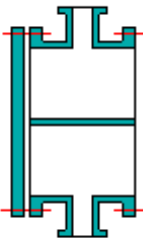
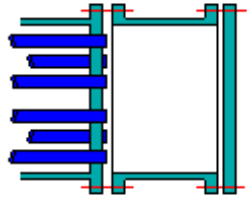
Les échangeurs tubulaires existant en usine sont très variés dans leur technologie bien que le principe reste toujours le même. Ainsi, tous les éléments entrant dans la constitution des échangeurs ont fait l'objet d'une normalisation publiée par le TEMA (Standards of Tubular Exchangers Manufacturers Association).

L'essentiel des différences concerne :

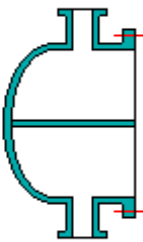
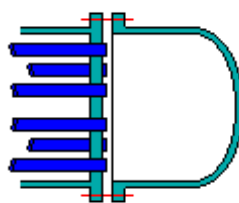
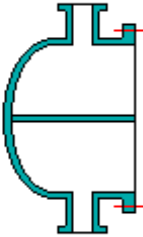
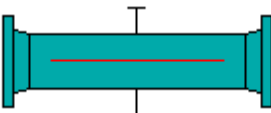
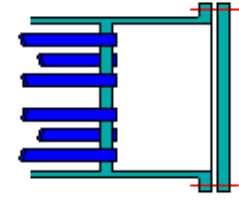
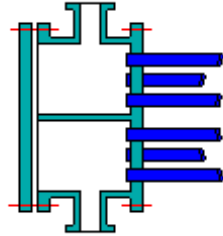
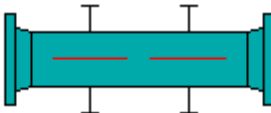
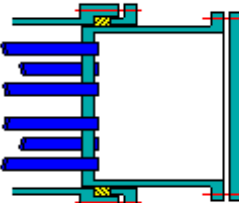
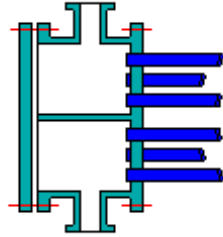
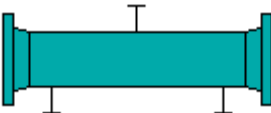
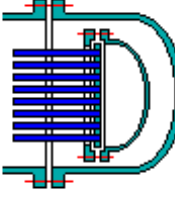
- La forme des distributeurs
- L'agencement de la circulation dans la calandre
- La forme du fond da calandre
- La méthode utilisée pour permettre au faisceau de se dilater dans la calandre
- La pression da fonctionnement

Rq): L'échangeur du type TEMA sera désigné par trois lettres représentant les trois éléments. [7]

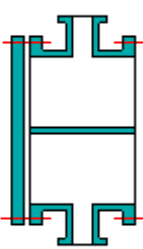
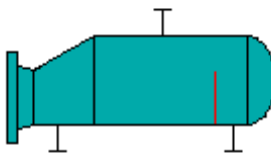
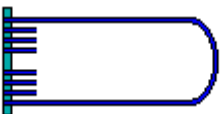
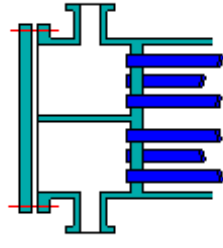
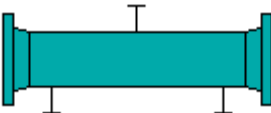
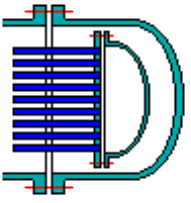
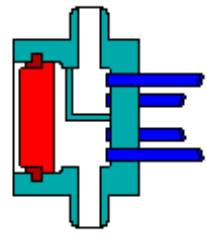
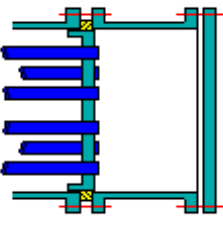
Tableau II.1: Les différents types d'élément selon TEMA

DISTRIBUTEURS	CALANDRE	FOND DE CALANDRE
A	E	L
		
Distributeur avec fond démontable	Calandre à une passe	Plaque fixe et faisceau démontable

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

B	F	M
		
Distributeur à fond soudé	Calandre à 2 passes avec Chicane longitudinale	Plaque fixe et faisceau démontable
B	G	N
		
Distributeur à fond Soudé	Ecoulement divisé	Plaque fixe et faisceau démontable
C	H	P
		
Plaque fixe et couvercle démontable	Double écoulement divisé	Fond flottant avec presse étoupe extérieur
C	J	S
		
Plaque fixe et couvercle démontable	Ecoulement divisé	Fond flottant avec anneaux démontables

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

A	K	U
		
Distributeur avec couvercle démontable	Rebouilleur	Faisceau de tube en U
N	J	T
		
Plaque fixe et faisceau démontable	Ecoulement divisé	Fond flottant
D	X	W
		
Spécial Haute pression	Ecoulement croisé	Fond flottant avec presse étoupe extérieur à détecteur de fuite

II.4.5.2.5 L'échangeur de type AES:

L'une de plaques tubulaires est fixe bloquée entre les brides de la calandre et la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre intérieure, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre. Les appareils permettant l'expansion thermique du faisceau constituent la grande majorité des échangeurs utilisés en pétrochimie ou en raffinage du pétrole.

Rq):

Notre échangeur est représenté ci-dessous il a 02 passes cotés tubes et une passe coté calandre. Ce type d'appareille présente certains inconvénients en particulier. Le joint de la boîte de retour est invisible et une fuite se traduit par une pollution de l'autre fluide plus ou moins difficile à détecter [6]

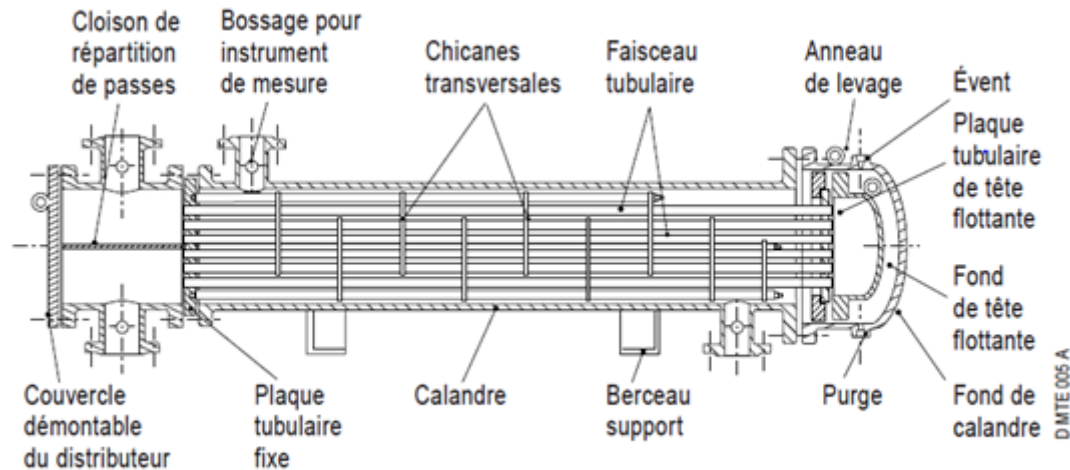


Figure II.10: échangeur de type AES.

II.4.5.2.6 Le rôle de l'échangeur 101 E 4 dans l'unité:

Le refroidisseur des produits de fond du stripper (101-E-04) est installé pour refroidir les produits de fond du stripper et pour amener le naphta prétraité aux bacs de stockage S-26 (existant) pour un futur démarrage.

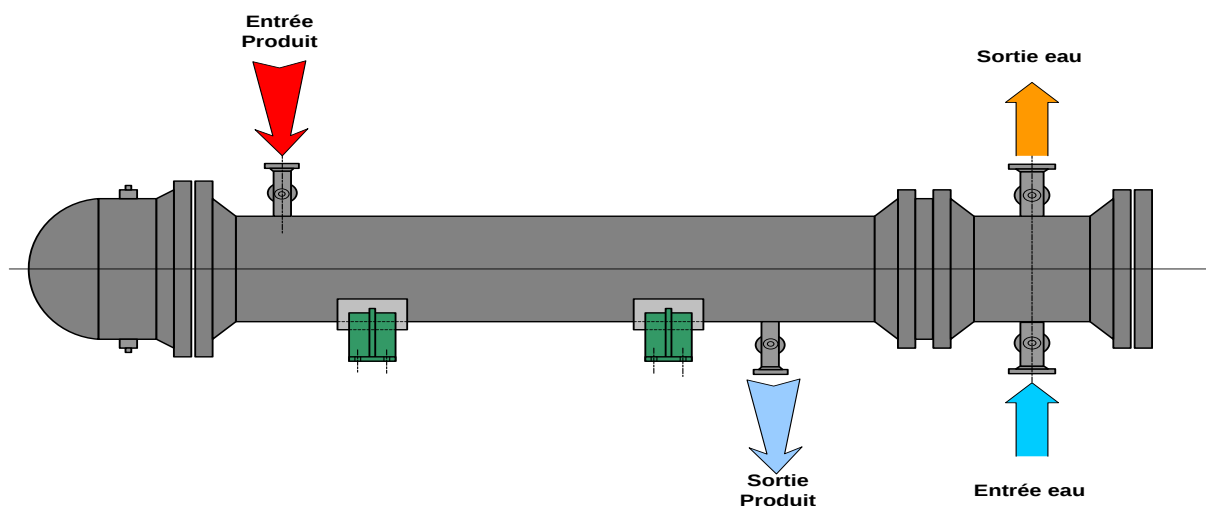
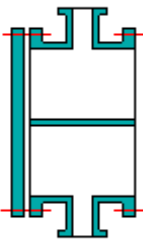
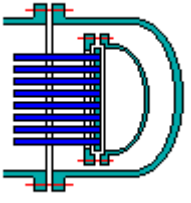


Figure II.11: Circulation des produits dans l'échangeur AES

Chapitre II : généralité sur l'échangeur de chaleur

DISTRIBUTEURS	CALANDRE	FOND DE CALANDRE
A	E	S
		
Distributeur avec fond démontable	Calandre à une passe	Fond flottant avec anneaux démontables

II.4.5.2.7 Etat descriptif de l'échangeur 101 E4 :

- **Service**→refroidissement fond stripper
- **Dimensions**→900ID*6100L
- **type**→AES
- **Installation**→horizontale

Tableau II.2: La Performance de l'échangeur

désignation	Coté calandre	Coté tube
Fluide	Fond strippé	cw
Débit totale MW.Kg/hr	76.096	383.562
Vapeur MW.Kg/hr	/	/
Liquide MW.Kg/hr	76.096	/
Vapeur d'eau MW.Kg/hr	/	/
Eau MW.Kg/hr	/	/
Incondensables MW.Kg/hr	/	/
Température de service °c	126/38	29/38
Pression de service Kg/cm2 G	13	3.3
Nombre de passe	1	2
Chute de pression admit Kg/cm2 G	0.75	1.10
Rendement MM K CAL/hr	3.54	3.54
Coefficient d'encrassement K CAL/hr.m2.°c	0.003	0.004

Tableau II.3: construction de l'échangeur E4

désignation	Coté calandre	Coté tube
Norme/standard/spécification	ASME sec.8Div.1/TEMA classe R/ F10-1353-201	
Surface d'échange m2	602.5	
Nb. tubes/diamètre/long/pas	944-OD19.05mm-Ep.2.11-6100mm-25.4mm	
Chicanes	longitudinale	
Pression de calcul Kg/cm2G	22.1	14.7
Température de calcul °c	240	120
Pression teste hydraulique Kg/cm2G	33.15	22.05
PWHT	oui	oui
Examen radiographique	Totale	
Surépaisseur de corrosion mm	100%	
Coefficient soudure	3	
calorifugeage	Non	

Tableau II.4: les nuances des matériaux

Calandre	A 516 G60	Tubes	A179
Couvercle tête flottante	A 516 G60	plaque tubulaire	A105
Tubulure calandre	A 106	Boite de distribution	A516G60
Bride calandre	A 105	Tubulures et brides	A106/A105
Tirants et écrous	A 193 B7 A 194 2H	garnitures	F.M. JACKET/ASB

II.5 Conclusion:

L'échangeur de chaleur souffre de différents problèmes qui peuvent réduire leur rendement, le plus souvent. La première manifestation tangible de ces problèmes est la corrosion d'ordre visuel : On constate le phénomène par sa localisation ou par la modification de l'aspect extérieur de l'objet qu'il affecte.

La corrosion reste toujours un mal mystérieux qui sera détaillée le chapitre suivant.

III.1 Définition:

Dans le langage courant la corrosion est généralement synonyme d'un phénomène réactionnel entre le fer et l'air humide provoquant la formation d'une couche de rouille non compacte. C'est l'attaque destructive d'un métal par réaction chimique ou électrochimique avec son environnement (milieu ambiant) et la perte des qualités spécifiques du matériau qui en résulte (dégradation des substrats métalliques) Elle est due à la tendance des métaux à retourner à l'état stable des minéraux naturels : oxydes, sulfates, carbonates...etc.

La détérioration se fait par des moyens physiques est appelée selon les cas : érosion, usure, grippage...etc. [8]

III.2 La prévision de corrosion:

La prévision de la corrosion est difficile à faire car les phénomènes de la corrosion sont tributaires de paramètres dont il est toujours malaisé de définir l'incidence exacte. L'apparition ou non de phénomène de corrosion dépend de la nature des matériaux métalliques utilisés (mise en forme, état structural), de la nature des effluents transportés et des conditions de service. La prévision de la corrosion d'une installation donnée s'appuiera donc sur les trois éléments suivants:

- analyse des effluents.
- prise en compte des conditions de service (temps d'arrêt, pression, température, débit, régime d'écoulement),
- essais de laboratoire et éventuellement in situ. [9]

III.3 Aspect économique de la corrosion:

- Pertes de vies humaines ;
- atteintes aux fonctions des équipements très chers ;
- Surdimensionnement des pièces ;
- Coût des pièces à remplacer et les réparations à effectuer ;
- Coût de l'entretien et du contrôle ;
- Coût dû à l'utilisation des matériaux plus nobles ;
- Augmentation des coefficients de sécurité ;
- Contamination du produit par des agents de corrosion ;
- Contamination du sol suite aux pertes en surface ;
- Arrêt de production.

III.4 Forme de la corrosion:

Les différentes formes de corrosion ne sont pas toujours indépendantes les uns des autres. Certaines peuvent se développer de façon simultanée. Les deux grandes formes sont :

III. 4.1 Corrosion chimique :

Cette forme de corrosion se définit comme l'attaque par réaction chimique, il y a formation d'une couche de produit de corrosion à travers la surface du métal (corrosion sèche). La forme générale de la réaction est:

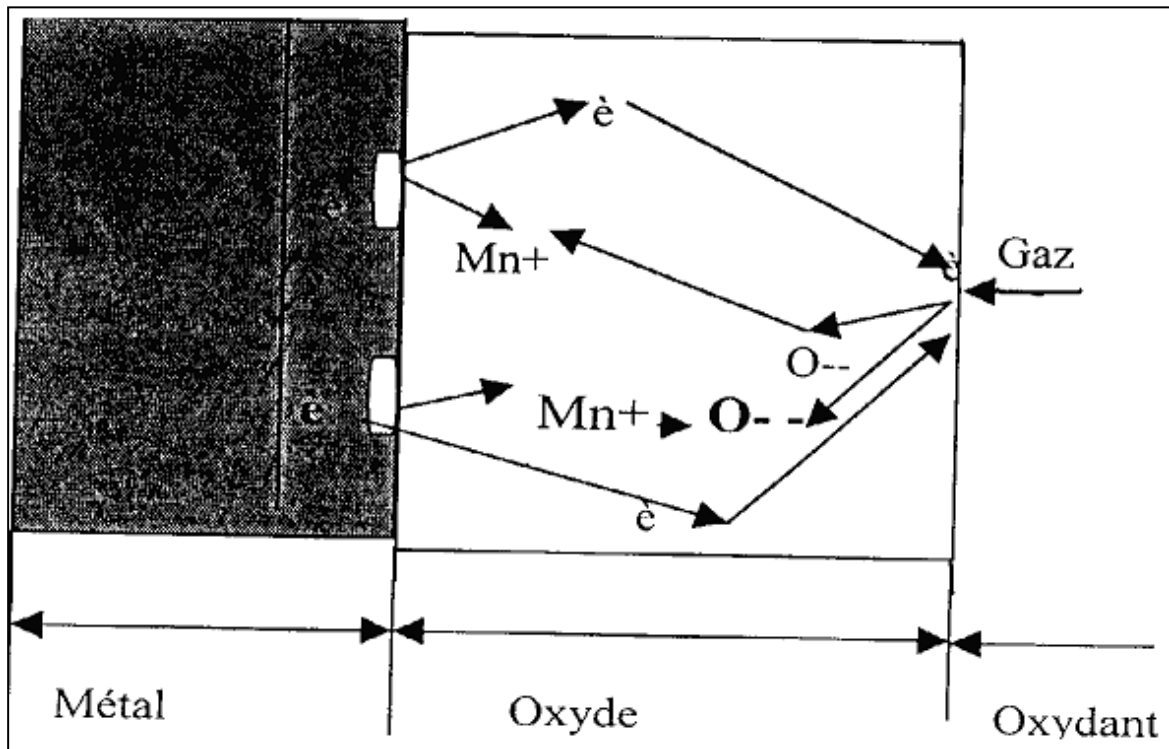
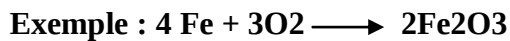
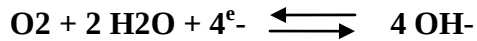


Figure III.1: représente la corrosion chimique.

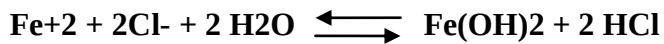
III. 4.2 Corrosion électrochimique:

Avec présence d'électrolyte, Cette forme de corrosion fait appel à la notion de pile électrique, ce qui implique des échanges de charges électriques et de matière. Trois cas sont envisageables pour la corrosion électrochimique:

- Les électrons cédés sont captés par l'oxygène dissous ; On parlera de **corrosion par l'oxygène**



➤ Les électrons sont captés par les cations H^+ : on parlera de corrosion acide :



➤ Les électrons sont captés par un métal plus "noble" ; On parlera de corrosion galvanique:



III.4.2.1 Différents types de corrosion et leurs préventions:

III. 4.2.1.1 Corrosion généralisée ou uniforme :

C'est la forme la plus commune caractérisée par une réaction chimique ou électrochimique qui se produit uniformément sur toute la surface considérée.

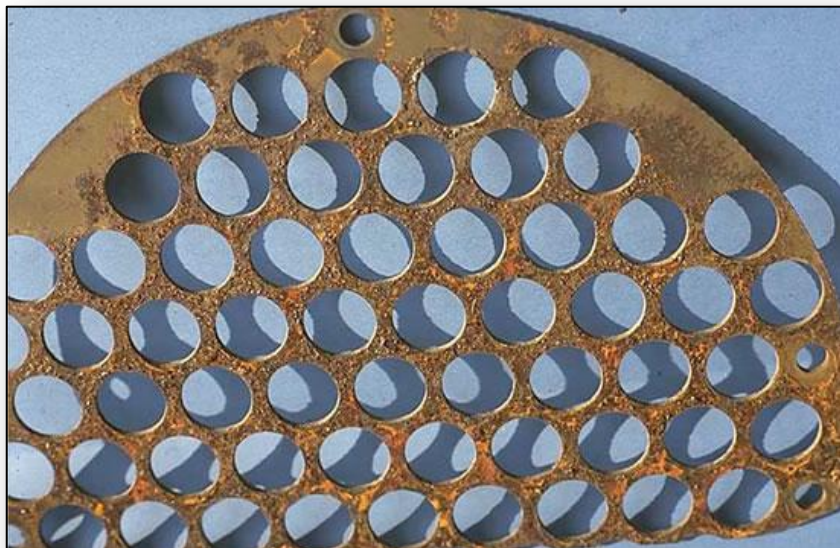


Figure III.2: la corrosion uniforme d'une chicane en acier.

→Prévention:

- Faire des inspections régulières permettant d'éviter des catastrophes.
- Prévoir une surépaisseur de corrosion dès la conception de l'appareil.
- Utilisation des revêtements (peinture, plaquage, etc....), des inhibiteurs ou protection cathodique.

III.4.2.1.2 Corrosion galvanique ou de contact:

Cette forme de corrosion se produit entre deux métaux différents en présence d'un liquide conducteur (électrolytique). Le métal le moins noble du point de vue électrochimique est attaqué

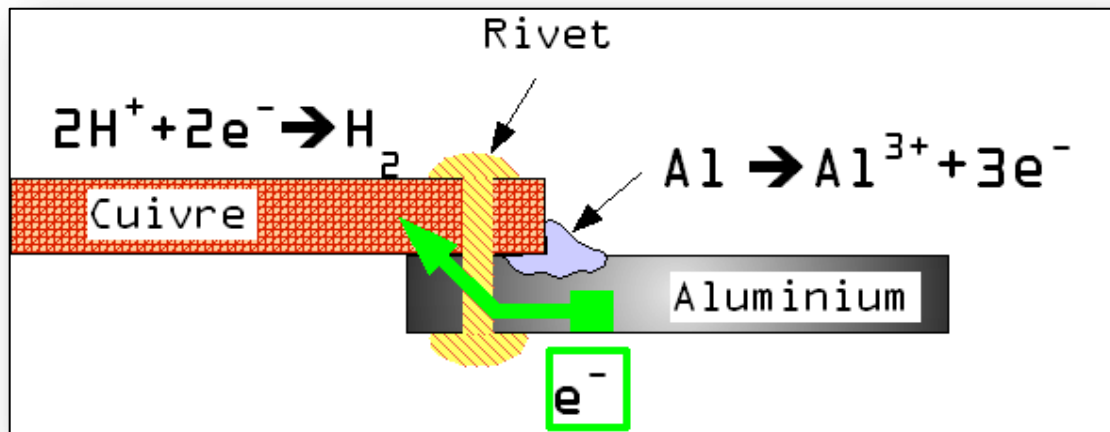


Figure III.3: la corrosion galvanique.

→Prévention:

- Revêtir le matériau d'un dépôt isolant (peinture par exemple) pour l'empêcher d'alimenter la corrosion du métal le moins noble.
- Revêtir les deux métaux du même dépôt.
- Revêtir le métal le plus noble d'un revêtement dont le potentiel est compatible avec celui du métal le moins noble (utiliser par exemple l'acier zinc pour assembler les plaques d'Aluminium).
- En évitant le contact direct de deux métaux différents à l'aide d'un joint isolant.

III.4.2.1.3 Corrosion par piqûres:

La corrosion par piqûres affecte les métaux et les alliages passifs tels que les aciers inoxydables ou les alliages légers. Elle est considérée comme « la maladie de la passivation », elle s'initie en des

points de faiblesse de la couche passive. Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse. L'attaque se limite à des piqûres très localisées et pouvant progresser très rapidement en profondeur, alors que le reste de la surface reste saine.

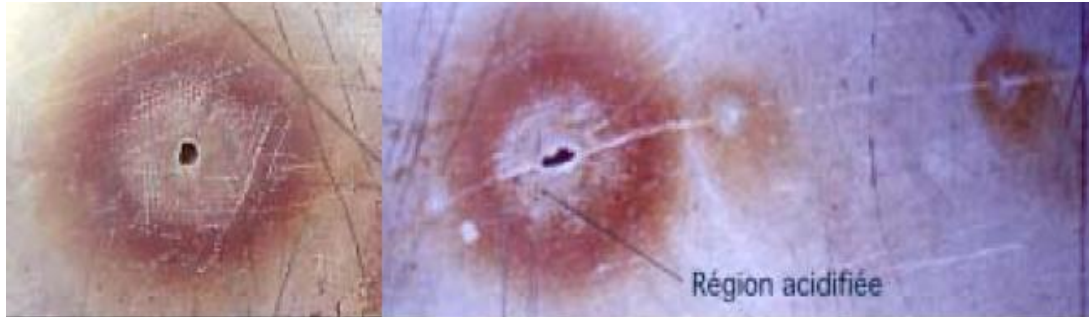


Figure III.4: la corrosion par piqûres.

→Prévention:

- L'accroissement de la teneur en molybdène des aciers inoxydables est une prévention spécifique.
- augmenter la vitesse de circulation des fluides.
- affiner l'état de surface

III.4.2.1.4 Corrosion par crevasse:

Ce type de corrosion est généralement associé à la présence de petit volume de solution stagnant dans les trous, sous les dépôts, à l'interface des brides et joints.



Figure III.5: la Corrosion caverneuse d'un acier allié sous un joint.

Prévention:

- refermer les crevasses lorsque c'est possible par soudage.
- concevoir des récipients facilement nettoyables et lavable de façon à empêcher tout dépôt de se former ou bien inspecter et enlever les dépôts régulièrement

III.4.2.1.5 Corrosion inter granulaire:

Lors de la cristallisation des métaux, les atomes d'impuretés constituent les joints de grain. Ces joints sont chimiquement plus actifs que le reste du matériau et se corrodent facilement en milieu corrosif. Ce type de corrosion est lié à la précipitation de carbure de chrome le long des joints du métal. Pour qu'elle se produise trois conditions doivent être remplies : au moins 0,035 % de carbone, une sensibilisation par un maintien à une température de 400 à 800°C, un milieu extérieur acide avec un pouvoir oxydant compris entre deux limites bien définies.



Figure III.6: la Corrosion inter-granulaire.

Prévention:

- Abaissement de la teneur en carbone pour diminuer le taux de carbure de Chrome
- Stabilisation de l'acier par des éléments ayant une affinité pour le carbone que le chrome.
- Préparation d'un alliage homogène et cela est obtenu avec des traitements thermiques à 1100 °C suivi d'une trempe rapide.

III.4.2.1.6 La corrosion sous contrainte:

Chapitre III: la corrosion

La corrosion fissurant sous contrainte conduit à une fissuration du métal résultant de l'action combinée d'une contrainte mécanique d'extension et d'un milieu électrolytique. C'est une des formes les plus graves de corrosion car le métal est soumis à une dégradation rapide sans manifestation extérieure visible, c'est-à-dire sans formation de produit de corrosion, ni de variation de poids. [10]

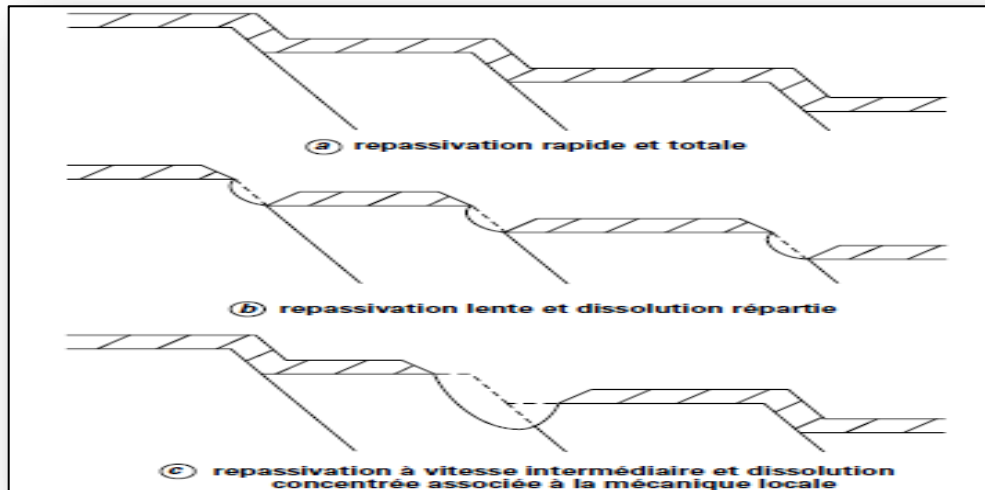


Figure III.7: Principe de la corrosion sous tension : corrosion localisée assistée par la déformation

III.4.2.1.7 Corrosion / érosion:

La corrosion / érosion apparaît souvent aux endroits de forte turbulence tel que coudes, rétrécissements de tubes et les pompes. La destruction des couches protectrices n'est pas homogène sur les surfaces métalliques ce qui crée des surfaces actives et passives.

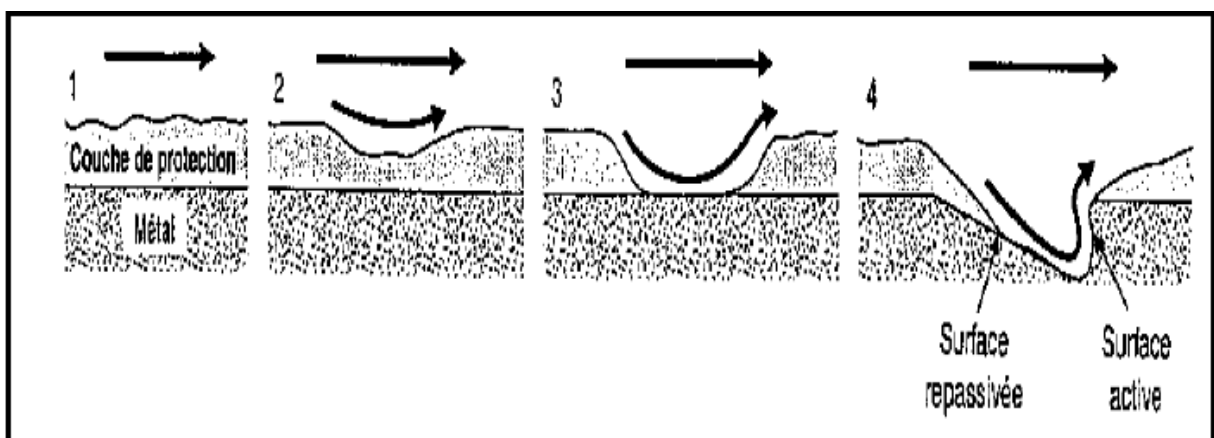


Figure III.8: la Corrosion par érosion.

Prévention:

- Choix d'un matériau plus résistant.
- Dessin de l'installation : qui assure un écoulement favorable des fluides.
- Contrôle de la teneur d'oxygène et l'abaissement de la température.
- Filtration des particules solides et addition d'inhibiteurs.
- Utiliser un revêtement protecteur.

III.4.2.2 L'effet des facteurs sur la Vitesse de corrosion:

Dans la pratique la vitesse de corrosion varie selon plusieurs facteurs tels que : la teneur en oxygène dissous, la valeur du PH, la vitesse de l'écoulement, la concentration en sel, température du milieu, etc.

III.4.2.2.1 Influence du PH:

Dans les milieux très acides c'est-à-dire au dessous du PH = 4.5, la vitesse de corrosion augmente très rapidement, avec un pH compris entre 4.5 et 8.5 la vitesse de corrosion est pratiquement indépendante de ce dernier. Ce n'est que dans les milieux très alcalins (à partir d'un PH =8.5 jusqu'à 12) que la vitesse de corrosion diminue considérablement d'autant plus que le PH augmente.

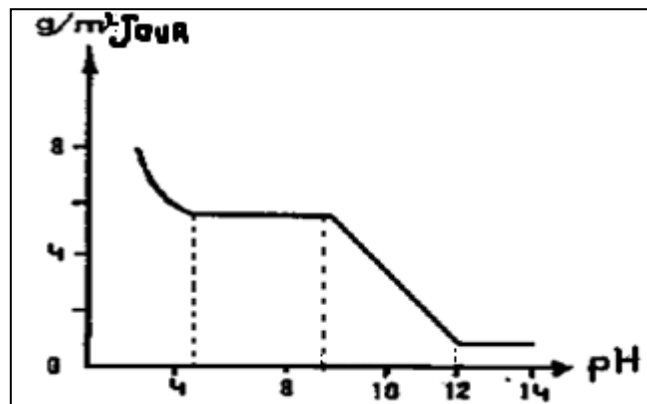


Figure III.9: influence du PH sur la vitesse de corrosion.

III.4.2.2.2 Influence de la teneur en sel:

Les sels dissous dans l'eau affectent le taux de corrosion en augmentant la conductivité de l'eau. Ceci contribue aux saumures de gisement de pétrole et aux fluides de complétion. Les fluides contenant le sel de chlorure de 3% en poids sont plus corrosifs que les fluides de haute salinité.

III.4.2.2.3 Influence de la vitesse de circulation (l'écoulement):

En principe dans l'eau agitée, la vitesse de corrosion augmente jusqu'à la formation des couches protectrices diminuent le taux de corrosion. Si de telles sortes, que des états de surface hétérogènes se forment et une corrosion localisée ou bien une corrosion par érosion peuvent apparaître.

III.4.2.2.4 Influence de l'oxygène:

L'augmentation de la concentration en oxygène accroît la vitesse de la corrosion jusqu'à un point critique qui représente la saturation, au-delà de ce point le taux de corrosion décroît du a la polarisation du métal.

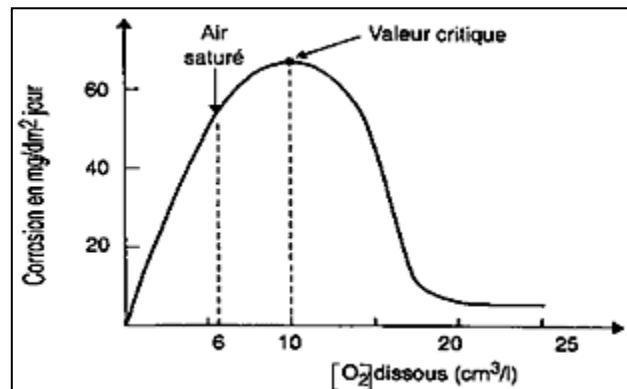


Figure III.10: influence d' O_2 dissous sur la vitesse de corrosion.

III.4.2.2.5 Influence de température:

Dans le cas des acides, la vitesse de corrosion est une fonction exponentielle de la température. Dans l'eau pour des concentrations en oxygène connues, la vitesse de corrosion double approximativement pour chaque augmentation de 30°C de la température. Néanmoins, la solubilité de O_2 diminue avec une forte élévation de la température et l'effet de corrosion est amorti sous cet effet.

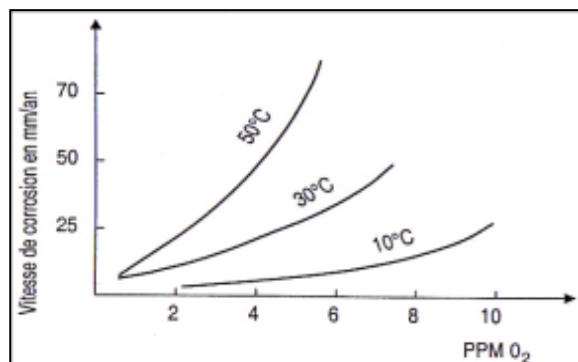


Figure III.11: l'effet de la concentration O_2 dissous sur la corrosion à différente température.

III.4.2.3 Contrôle de la corrosion:

Certaines corrosions sont apparentes : fuites, baisse de production, pollution en mer, d'autres peuvent être décelées en raison de leur incidence sur l'exploitation, par exemple :

- mise en pression de l'annulaire pouvant indiquer une communication entre le tubing et le casing.
- baisse de production pouvant provenir des fuites dans le réseau de collecte ou dans les tubes.
- apparition des dépôts dans certains endroits préférentiels (vannes, filtres).

Cependant, des corrosions graves affectant toute une installation, peuvent rester cachées longtemps avant de se manifester de manière catastrophique. En conséquence, quel que soit l'état apparent d'une installation il y a lieu de contrôler. Ceci implique une surveillance systématique et bien adaptée à l'installation. Tout responsable de chantier doit savoir adopter une attitude cohérente face à un problème de corrosion. En cas d'incident, il doit donc fournir au spécialiste non seulement les pièces corrodées –si celle-ci est transportable- mais aussi toutes les indications susceptibles d'apporter des renseignements ainsi qu'un échantillon des fluides et des dépôts qui accompagnent les phénomènes de corrosion. Il est ainsi intéressant de normaliser les observations sur le chantier.

III.4.2.4 Protection contre la corrosion:

Les méthodes de lutte contre la corrosion, les plus utilisées sont:

1) Utilisation des inhibiteurs de corrosion:

Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique utilisée dans un milieu agressif pour diminuer la vitesse de corrosion. Les inhibiteurs de corrosion agissent en créant une barrière entre le métal et le réactif ; les inhibiteurs se fixent sur la surface du métal sous une forme qui dépend de leur nature.

2) Protection passive par revêtement:

Le revêtement extérieur a le but de créer un effet de barrière électrique entre le métal et le milieu environnant. Ce revêtement ne constitue cependant pas une protection absolue et définitive en raison des imperfections ou blessures susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage. C'est pourquoi on maîtrise ce risque par l'installation d'une protection cathodique [6].

3) la protection cathodique :

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque de la corrosion. Les canalisations en acier constituent le champ

d'application principal de cette protection .les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles.

4) Protection par anodes sacrificielles:

La protection cathodique par anodes sacrificielles (anodes réactives ou anodes soluble) a pour but de mettre à profit l'effet du couple galvanique (pile) créer par l'association, dans un même électrolyte, de deux différents : le métal à protéger et un métal moins noble qui constitue l'anode. Dans le cas de la protection de l'acier, les anodes utilisées sont à base de zinc, d'aluminium ou de Magnésium. Dans ce type de protection, l'anode se consomme par dissolution en portant la surface du métal à protéger delà de son potentiel d'immunité.

III.4.2.5 Dégradations types trouvées à l'ouverture des échangeurs:

a) Calandre:

- corrosion généralisée par cratère du couvercle, profondeur 1,5 à 2 mm, ou en partie basse
- corrosion par piqûres au niveau de la génératrice inférieure
- corrosion légère au droit des chicanes
- portée de joint détérioré
- piquages corrodés

b) Travaux consécutifs à ces dégradations:

- suivi des corrosions par cratères (d'une ouverture à l'autre)
- réusinage des portées de joint avec rechargement de la plaque
- sablage interne de la calandre (visite officielle)
- resurfaçage de la portée de joint de calandre

a) Faisceau:

- corrosion bactérienne
- portée de joint de tête flottante en mauvais état (serrage précédent)
- corrosion aux extrémités de tubes
- corrosion par cratères des plaques tubulaires
- demi-lunes déformées (serrage précédent)
- corrosion par piqûres des tubes
- déchaussement des extrémités de tubes + forte corrosion plaques tubulaires
- détérioration des feuillards latéraux

a) Boîte de distribution:

- remplacement des deux demi-lunes

- corrosion généralisée par cratères
- soudure des piquages inférieurs et supérieurs corrodés
- soudures des cloisons corrodées
- mauvais état des portées de joint
- cassure des soudures des cloisons
- déformation de la cloison, plus perte d'épaisseur

b) Travaux consécutifs à ces dégradations:

- retubage complet ou partiel (quelques tubes ou une passe au total)
- réusinage des portées de joint
- redressage des cloisons et/ou rechargement, puis réunissage
- réparation des piquages
- remplacement de tiges filetées
- sablage de la B.D.
- remplacement de la cloison centrale + recuit [3]

III.5 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau:

Le choix d'un matériau pour la construction d'un équipement résulte d'un compromis entre plusieurs facteurs:

- compromis entre la résistance à la corrosion et d'autres propriétés comme la résistance mécanique, la facilité de mise en œuvre, le soudage
- compromis entre la durée de vie de l'équipement et la durée de vie estimée du matériau

Le souci d'éviter la corrosion pousse à choisir avant tout des matériaux qui ne se dégradent pas dans leur environnement ou, du moins, qui se corroderont de façon uniforme afin qu'on puisse connaître le plus exactement possible la durée de vie utile de l'équipement. Il faut en outre porter une attention spéciale aux conditions d'utilisation (combinaison matériau-milieu corrosif-contraintes) qui entraînent des types particulièrement pernicieux de corrosion,

- comme la corrosion sous contraintes ou la corrosion par piqûres.

La synoptique de la figure résume les différents compromis qui règlent le choix d'un matériau dans la construction d'un appareil ou d'une installation. [11]

IV.1 La composition chimique:

Il est essentiel avant toute chose de déterminer la composition chimique de notre matériaux a l'aide d'un appareil contient un tube de R-X 40Kv/50 μ A.



Figure IV.1 : détermination de la composition chimique par le PMI

IV.2 L'examen métallographique :

IV.2.1 Préparation de l'échantillon :

- 1) découper les échantillons le plus souvent par la tronçonneuse il faut éviter un échauffement excessif qui pourrait parfois entrainer une modification de la structure. Les dimensions de l'échantillon découpé sont : 1cm*1cm.
- 2) Comme les dimensions de l'échantillon sont petits on ne peut pas faire le polissage directe alors on fait l'enrobage

3) Enrobage :

→Mode opératoire :

On mélange intimement la résine et ses additions dans les proportions suivantes :

- résine visqueux.
- Quelques gouttes de durcisseur.

On Dispose le tube - moule sur la plaque de verre après avoir préalablement

Graissé d'une pellicule de couche de vaseline a l'intérieure du moule la partie utile de la plaque de verre et s'assurer de l'étanchéité de dispositif.

On Coule par-dessous la résine

On attend le complet durcissement pour démouler

4) Préparation de la surface :

→ Polissage : a eau

Il existe des machines manuelles munies de disque abrasifs interchangeable les papiers qui sont généralement utilisés sont numérotés : 180- 220- 320- 400- 600- 800 -1000 -1200 -2000 40000.(échelle américaine).

Après le polissage, la finition est exécutée par l'alumine en suspension dans l'eau.

L'échantillon est ensuite soigneusement débarrassé des dernières traces d'abrasif par lavage à l'eau .et un séchage en utilisant le séchoir.



Figure IV.2: polisseuse mécanique

5) Attaque :

La micrographie révèle après polissage certains constituants colorés naturellement et les différences de pouvoir réflecteur ou d'orientations cristallographique permettent souvent un premier examen.

→ Les solutions d'attaque :

- l'acier au c on utilise le Nitale 2%.
- le cupro-nickel on utilise une électrolytique par la solution qui se compose de :
 - 5ml acide acétique.
 - 10ml acide nitrique.
 - 30ml eau.

IV.3 Microscope optique:

L'étude au microscope optique permet d'observer la microstructure des échantillons. Éclairant l'objet à travers l'objectif lui-même, l'échantillon doit pouvoir réfléchir la lumière. Pour le rendre

« Miroir », après enrobage, les échantillons subissent un polissage mécanique (on a déjà expliqué les étapes de polissage)



Figure IV.3: microscope optique

IV.4 Microscope électronique à balayage :

Le principe du microscope électronique à balayage (MEB) est de balayer un échantillon par une sonde électrique. Les informations provenant de l'interaction " faisceau incident-matériau " (En particulier les électrons secondaires) sont transformées en signal électrique. Ce signal électrique module l'intensité du faisceau d'un tube d'oscilloscope ou de télévision à balayage Synchronisé. L'image est obtenue après le balayage complet de l'écran, les images obtenues de cette façon au MEB présentent surtout un avantage du point de vue du pouvoir de résolution qui peut atteindre dans les meilleurs cas une valeur de l'ordre de quelques micromètres.

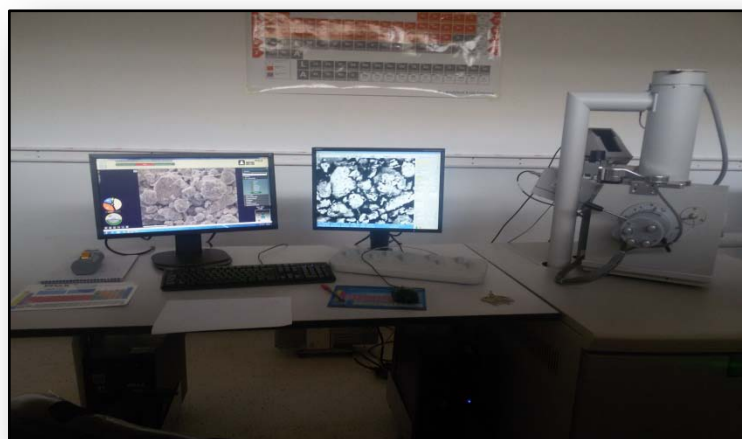


Figure IV.4: microscope électronique à balayage

IV.5 Caractérisations mécaniques :

→La dureté :

La dureté des échantillons est mesurée à l'aide d'un duromètre Vickers de type INNOVATEST (Figure II.5), au niveau du laboratoire de l'ENSMM.

L'essai de dureté VICKERS consiste à imprimer la surface de la pièce par un pénétrateur de forme pyramide droite, à base carrée, d'angle au sommet de 136° , sous une charge F (dans nos mesures on utilise une charge $F = 1\text{Kgf}$)

La relation de Vickers est donnée par :

$$H = 1.8 F/d^2$$

Avec : $d = (d_1 + d_2)/2$

Où, d est la longueur de la diagonale moyenne de l'empreinte, et F est la charge appliquée.



Figure IV.5: le duromètre

IV.6 Caractérisations électrochimiques : Les essais de corrosion :

1) L'équipement utilisé :

→Tracé des courbes de polarisation :

Les mesures de polarisation linéaire, les mesures d'impédance et le potentielle ont été effectuées dans une cellule en verre, à trois électrodes :

- Electrode de travail : alliage étudié.
- Electrode de référence : électrode au calomel saturé (ECS).
- Electrode auxiliaire en platine ou contre électrode.

Cette cellule présentée dans la figure est conçue de façon à maintenir une distance fixe entre les trois électrodes. Le passage du courant dans la cellule est réalisé à travers la contre électrode.

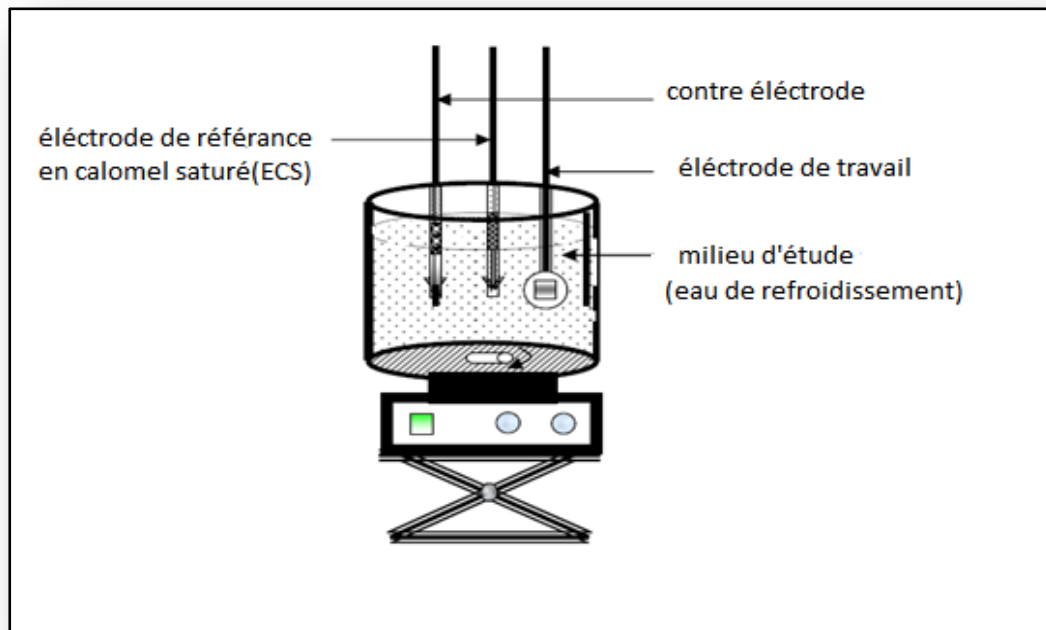


Figure IV.6 : schéma de la cellule utilisé pour les tracés des courbes de polarisation

Les mesures électrochimiques ont été conduites en utilisant un potentiostat piloté par un micro-ordinateur combiné à un Analyseur. Les courbes de polarisation ont été réalisées à l'aide du logiciel EC-Lab.

2) Les conditions de travail :

Milieu d'étude :

Eau de refroidissement de l'échangeur de chaleur.

➤ La courbe de potentielle :

La courbe OCP ($E=f(t)$) prend le temps d'une heure et demie pour ce réalisé.

➤ La courbe de polarisation linéaire :

La vitesse de balayage = 1mV/s

Le domaine de balayage = [-0.9v 1v]

➤ La courbe d'impédance :

La gamme de fréquence : [100Khz 10mhz]

L'amplitude : 10mV

IV.7 Les traitements des eaux :

Il est nécessaire de connaître la composition d'une eau si l'on veut en prévoir le comportement ou remédier à des inconvénients constatés dans l'utilisation de cette eau,

L'analyse de l'eau est généralement réalisée dans un but précis: contrôle de potabilité, étude de corrosion, étude d'un problème industriel.... etc. et doit permettre de déterminer les concentrations en gaz, en sels dissous et la mesure de paramètres tels que pH, TH, TA, TAC, résistivité...

A cause de ces raisons on a fait des expériences sur la qualité des eaux de refroidissement de l'échangeur E4 les résultats sont dans le tableau ci-dessous

→ Méthodes d'analyses des eaux industrielles

IV.7.1 Détermination du PH :

a) Principe de la méthode :

Détermination potentiométrique de la concentration des ions hydrogène dans l'eau.

b) Mode opératoire :

- 1- Tarer le PH mètre avec les solutions tampons (4, 7, 9)
- 2- Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée.
- 3- Immerger les électrodes dans l'échantillon agité.
- 4- Lire la température de l'échantillon avec un thermomètre et la régler sur le compensateur de température sur PH mètre.
- 5- Effectuer la lecture du PH



Figure IV.7 : mesure de PH

IV.7.2 Détermination de la conductivité électrique

a) Principe de la méthode :

La conductivité électrique offerte d'une eau au passage du courant électrique en fonction direct de la concentration ionique de la solution. Sa détermination donne donc une mesure indirecte des substances dissoutes.

b) Mode opératoire :

- On lave soigneusement les électrodes, et plonger dans l'échantillon, agité.
- On lie la température de l'échantillon et la fixer sur le compensateur du conductivimètre.
- On sélectionne la range avec le bouton approprié.
- On lie la conductivité sur l'échelle.



Figure IV.8 : Détermination de la conductivité électrique

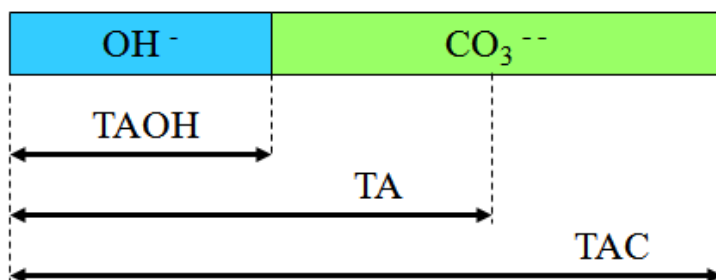
IV.7.3 Détermination de l'alcalinité t_a et t_{ac} :

a) Principe de la méthode :

Cas général :

L'eau contient des hydroxydes et des carbonates :

- Le titre alcalimétrique TA : les hydroxydes et la moitié des carbonates.
- Le titre alcalimétrique complet TAC : la totalité des hydroxydes et des carbonates.



b) Mode opératoire :

- 1) $t_a \rightarrow$ on prélève 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 300 ml, ajouter 4 à 5 gouttes de phénolphthaléine on obtient la couleur rose pale et on tire avec H_2SO_4 a 0.02N jusqu'à la disparition de cette couleur
- 2) $t_{ac} \rightarrow$ à la solution précédente, ajouter 4-5 gouttes d'indicateur mixte et tirer avec le même acide jusqu'au virage de la couleur bleu à la couleur rose pale et on note le volume.

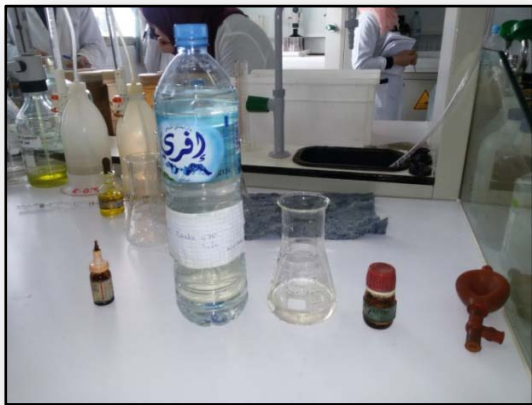


Figure IV.9 : Détermination de l'alcalinité t_a et t_{ac}

IV.7.4 Détermination de TH :

a) Mode opératoire :

- On prend 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 300ml.
- On ajoute 2 ml de solution tampon.
- On ajoute l'indicateur NET la solution se colore en rouge cerise.
- On titre avec l'EDTA a 0.01M jusqu'au virage bleu de l'indicateur.



Figure IV.10 : détermination du TH

IV.7.5 Détermination du calcium et du magnésium (ca et mg)

IV.7.5.1 Détermination du calcium :

a) Principe de la méthode :

Quand l'EDTA est ajouté à l'eau contenant du Ca^{2+} et Mg^{2+} , il se combine premièrement avec le Ca^{2+} , ce dernier peut être déterminé directement avec l'EDTA après avoir porté le PH à 12-13, dans ce cas le Mg^{2+} se précipite ; on utilise le murexide comme indicateur capable de se combiner avec le calcium. Le murexide est un indicateur qui en présence de l'ion Ca^{2+} se colore en rose, mais vire au violet : quand la quantité de l'EDTA est suffisante pour compléter Tout le Ca^{2+} .

b) Mode opératoire :

1 - à cause de l'élévation de la valeur du PH utilisée dans cette méthode, il est nécessaire de titrer immédiatement après l'ajout de l'alcali.

2 - prélever 100 ml d'échantillon ou une partie aliquote mineure diluée à 100 ml de telle façon que le Ca^{2+} sera d'environ 5-10 mg.

3 - ajouter 2 ml de solution 1 n de NaOH.

Agiter et ajouter une pincée du mélange de l'indicateur et titrer avec l'EDTA en agitant continuellement jusqu'au virage bleu.



Figure IV.11 : détermination du Ca

IV.7.5.2 Détermination du magnésium :

Principe de la méthode :

Par différence entre la dureté totale et la dureté du calcium de cette manière, on obtient la dureté du Mg^{2+} exprimée en ppm de CaCO_3 .

Dureté de Mg^{2+} en ppm de CaCO_3 = dureté - dureté de Ca^{2+} .

IV.7.6 Détermination des chlorures (Cl^-)

Mode opératoire :

- On prend 100 ml d'échantillon on l'introduit dans un erlenmeyer
- On ajout 2 gouttes de chromate de potassium
- Titrer avec la solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0.02N jusqu'au virage du jaune au rouge brique.



Figure IV.12 : détermination du Cl^-

IV.7.7 Détermination de la silice (SiO_2) :

a) Principe de la méthode :

La méthode est calorimétrique et se base sur la réaction entre l'acide silicique dissout et molybdate d'ammonium à un PH entre 2,3 - 2,4 ; le complexe jaune silicique molybdate ($\text{SiO}_2 \cdot 12\text{MoO}_3 \cdot n22\text{O}$) est réduit avec l'acide amine - naphthol sulfonique augmentant la sensibilité de l'analyse on obtient une couleur bleue avec formation de l'azur du molybdène, on peut travailler dans les gammes de 0,001 à 0,015 mg avec une précision de + 10 à + 2 %.

b) Mode opératoire :

Prendre 50 ml d'échantillon et suivre à partir du point 2 la courbe d'étalonnage.

IV.7.8 Détermination du fer total (Fe)

Mode opératoire :

- Introduire 100 ml d'échantillon dans une fiole de 300ml.
- Ajouter 2 ml d'acide chlorhydrique et 1 ml de chlorhydrate hydroxiamine.
- On obtient un volume de 10 ml on le complète avec l'eau distillé jusqu'à 75 ml.
- On ajout :
 - 1ml de chlorhydrate hydroxiamine
 - 5ml d'ortho – phénontroline.
 - 5ml solution tampon.
 - 2ml de NH_4OH .
- on agite et on laisse a reposé 5 mn.
- on fait passe au spectrophotomètre.



Figure IV.13: détermination du Fe

IV.7.9 Détermination des solides dissouts T D S

a) Principe de la méthode :

Les solides dissous sont déterminés par la pesée filtration et évaporation de l'eau.

b) Mode opératoire :

- Maintenir la capsule de platine pendant le four à mufle à 800 °c, la refroidir dans l'étuve à 150 °c pendant 1 h la transférer dans le dessiccateur pour 1 h.
- Prendre dans le cylindre 500 ml et filtrer avec du papier filtre n° 40.
- Evaporer lentement sur bain-marie dans la capsule de platine préalablement pesée jusqu'au poids constant.
- Après évaporation complète passer la capsule dans l'étuve thermostatique à 105 °c pendant 1h.
- La retirer, la laisser refroidir pour 1 heure dans le dessiccateur, peser (Pb) jusqu'au poids constant.
- Faire le même travail du point dans le four à mufle à 800 °c ; la pesée (pc).

IV.7.10 Détermination de la demande chimique en oxygène D C O

a) Principe:

- L'eau est laissée en contact avec un volume connu d'une solution de permanganate de potassium titrée.
- L'excès de permanganate est dosé au bout de 4 heures.

b) Mode opératoire :

Introduire dans un erlenmeyer, 50 ml d'eau à analyser 5 ml de solution d'acide sulfurique puis 50 ml de solution de permanganate de potassium. Abandonner le flacon pendant 04 heures à la température ambiante du laboratoire. Décolorer ensuite par 10 ml de solution de sulfate de fer et d'ammonium. Titrer ensuite l'excès à l'aide de la solution de permanganate. Déterminer par calcul la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des matières réductrices contenues dans une eau traitée.

V.1 Problématique :

Parmi les équipements de transferts de chaleur, le refroidisseur à eau de la solution de naphtha B traité (E04) occupe une place importante dans l'unité REFORMING 2. D'après l'historique Ci-dessous les utilisateurs rencontrent beaucoup de problèmes au niveau de l'équipement.

V.1.1 L'Histoire :

Tableau V.1 : les différents passages dans le cycle de travail de l'échangeur E04

La date	La remarque
24/08/1991	Installation de l'équipement
15/04/1995	Ouverture de l'équipement pour l'entretien
11/12/1996	Arrêt programmé : test d'étanchéité → encrassement important des tubes (nombre des tubes obturés 05)
18/12/1997	Retubage totale de l'équipement (+de 200 tubes obturés)
18/11/1998	Ouverture de l'équipement pour l'entretien Test d'étanchéité (équipement en bon état 08 tubes obturés)
11/06/2002	Inspection interne et externe test d'étanchéité Arrêt programmé (nombre des tubes obturés 26) +substitution des anodes sacrificielles Zn → le nombre est 18
15/03/2004	Arrêt accidentel : encrassement et fuite (nombre des tubes obturés : 49 → 1re passe 29 et 2ème passe 20 corrosions généralisés des tubes : prévoir le retubage total
07/03/2005	Arrêt programmé : retubage totale équipement en bon état

1/09/2007	Arrêt programmé unité en Marche : équipement isolé, visite périodique
Juin /2009	Réépreuve décennale coté calandre satisfaisante Equipement en bon état, entartrage important des tubes, extraction totale du faisceau, nettoyage interne (pompe HP, mèche rotatif) et nettoyage externe, test coté tube satisfaisant.
Aout /2013	visite périodique hors arrêt : nettoyage des tubes (bous et tartre, dépôt important, substitution des anodes sacrificiel, test d'étanchéité équipement en bon état)
février/2014	Arrêt accidentel, nettoyage interne des tubes (présence importante des bous et des tartres élimination des fuites sur 7 tubes (par bouchage) faisceau présente une dégradation avancée → prévoir un retubage totale en ADMERALTY lors du prochain arrêt.

V.1.2 Commentaires et Interprétations :

➤ Le refroidisseur à eau de produit naphta B traité a fonctionné correctement Jusqu' au 11/12/1996 ou il a été constaté l'apparition d'encrassement important des tubes de l'échangeur.

➤ Après une année du dernier arrêt programmé on a un retubage totale, en plus de l'encrassement, l'obturation des tubes a plusieurs origines : exemple **Le tartre** :

Les différents constats enregistrés au niveau des tubes de l'échangeur **E4** lors d'ouverture de cet équipement ont révélés que la paroi interne est colmatée par des dépôts de tartre, la cause principale de ces tartres est le débit de l'eau de refroidissement faible.

Un autre phénomène a été relevé : la présence de la corrosion sur la surface interne des tubes de l'échangeur, Ces différents constats ont pour conséquences:

1. La transmission de chaleur du métal vers le fluide qui diminue d'où le risque d'un échauffement local du métal ayant pour conséquence une baisse des caractéristiques mécaniques et qui peut être rapidement dangereux pour la durée de vie de l'appareil.
2. Le rendement thermique de l'appareil baisse.
3. L'entraînement des grosses particules provoquant la turbulence, dont cette dernière accentue la vibration des tubes.
4. Le faible débit d'eau utilisé pour le refroidissement du naphta B traité, ce mauvais phénomène provoque une dilatation des tubes engendrée par l'élévation de la température.



Figure V.1 : l'encrassement au niveau de la plaque tubulaire

- On remarque que l'obturation des tubes était importante dans la 1ère passe par rapport à la 2ème passe et ceci a une relation avec la qualité des eaux (l'encrassement) et la formation des dépôts dans la 1ère passe quand l'entrée de l'eau de refroidissement.
- Les endommagements de l'équipement ont continué, et les problèmes rencontrés à cause de la corrosion et l'encrassement sont très actifs dernièrement (il y a beaucoup d'arrêts accidentels, les tubes sont obturés rapidement il n'y a pas beaucoup de temps entre deux ouvertures de nettoyage).
- Le service inspection cherche une solution à une efficacité de longue durée, c'est pour cette raison que l'équipement nécessite un retubage total et un changement de faisceau tubulaire (amélioration de la nuance comme solution actuelle).



Figure V.2: retubage totale en cupronickel

V.2 La composition chimique :

Nous avons effectué des analyses par des rayons X à l'aide du PMI pour préciser les divers composants de chaque matériau, cela nous permet de prendre une idée sur le comportement de ces matériaux et d'anticiper les résultats des essais.

L'analyse chimique des 02 sorts de matériaux avant et après le retubage total sont sur les tableaux V.2 et V.3.

Tableau V.2: les différents composants de l'acier A179

L'élément	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	C u	Nb	Mo	W
pourcentage	0.00	0.00	0.00	0.48	98.18	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
incertitude	0.062	0.021	0.022	0.074	0.131	0.057	0.037	0.006	0.007	0.004

Comme le PMI ne donne que les éléments qui ont un pourcentage important on a fait des recherches pour bien préciser la valeur de carbone qu'on a besoin même pour préparer la solution d'attaque et pour différencier la structure microscopique on trouve que cette valeur est $<0.2\%$: exactement entre 0.06% et 0.18% . [12]

Tableau V.3: les différents composants de l'alliage de Cu B111 (norme ASTM)

L'élément	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Se	Sn	Pb	Bi
pourcentage	0.56	1.51	9.79	87.21	0.04	0.01	0.00	0.15	0.03
incertitude	0.071	0.097	0.237	0.267	0.049	0.014	0.071	0.062	0.031

Il est clair que cette nuance amélioré est un cupronickel B111 [13] à base de cuivre

V.3 La microscopie optique:

Dans le but de révéler la microstructure, nos échantillons ont subis différentes opérations : un polissage mécanique jusqu'à une surface parfaite sans défauts et avec un aspect « miroir » assurant une réflexion maximale, en utilisant l'attaque chimique convenable on trouve les structure ci dessous :

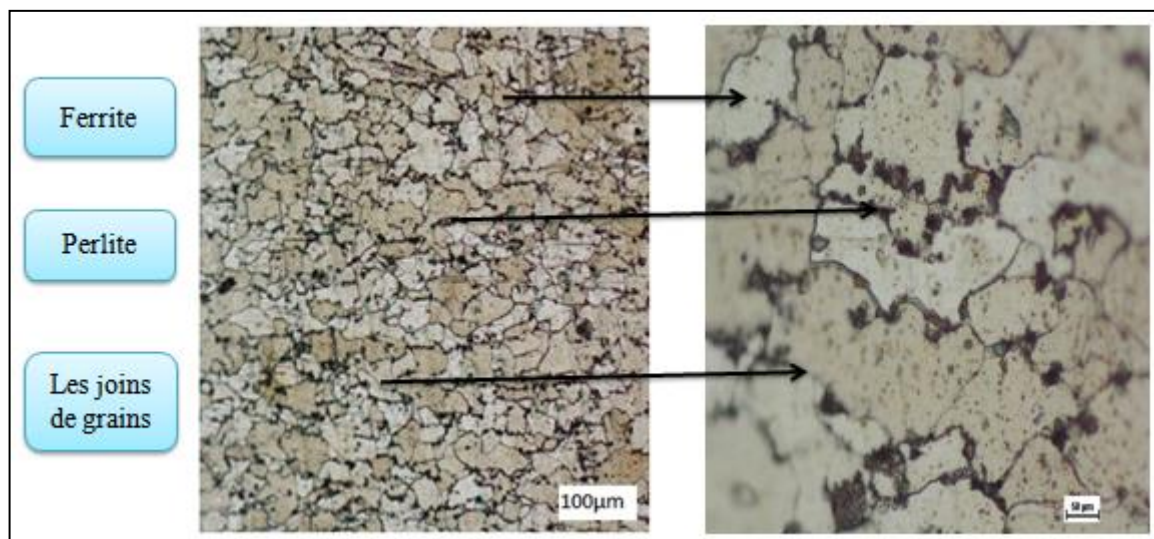


Figure V.3: la microstructure de l'acier A179 observé par le microscope optique

L'examen par microscopie optique des structures obtenues sur l'acier à faible teneur en C révèle une structure biphasique: ferrito-pérlitique constituée d'une matrice ferritique(α) avec une faible proportion de perlite. (α =cémentite)

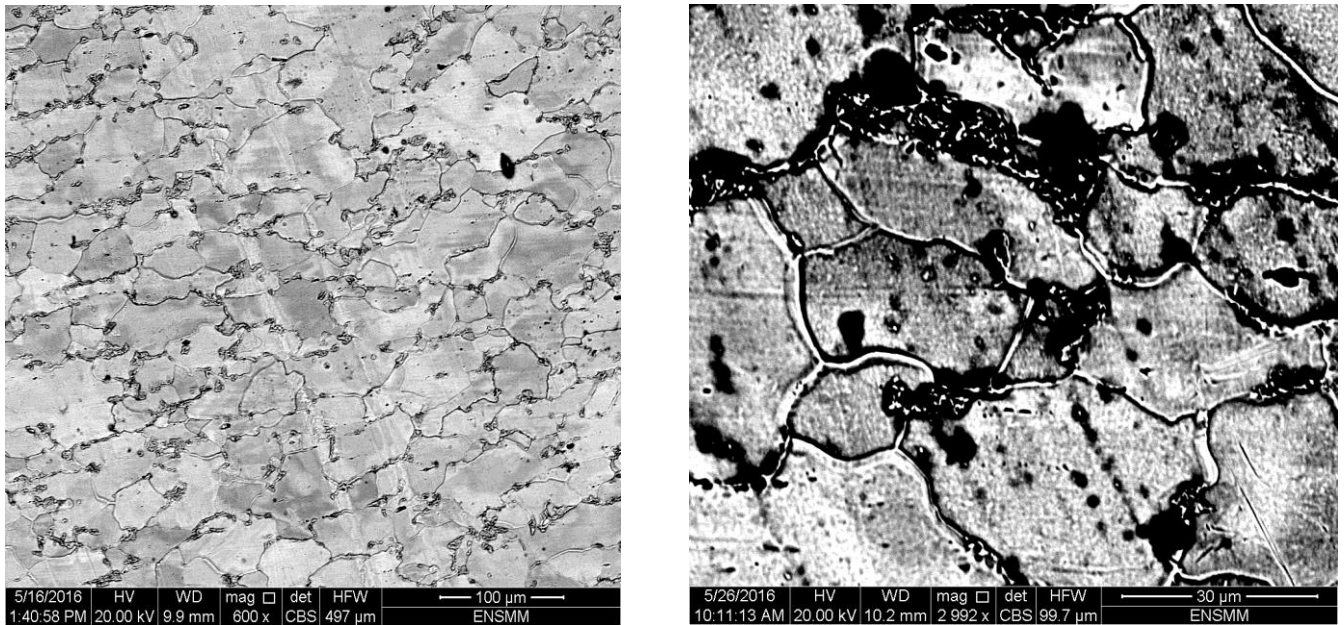


Figure V.4: microstructure de l'acier 179 observé par le MEB

L'examen par le microscope électronique à balayage montre l'apparition d'une structure présente une texture de déformation (des grains allongés dans le sens de la déformation de tube).

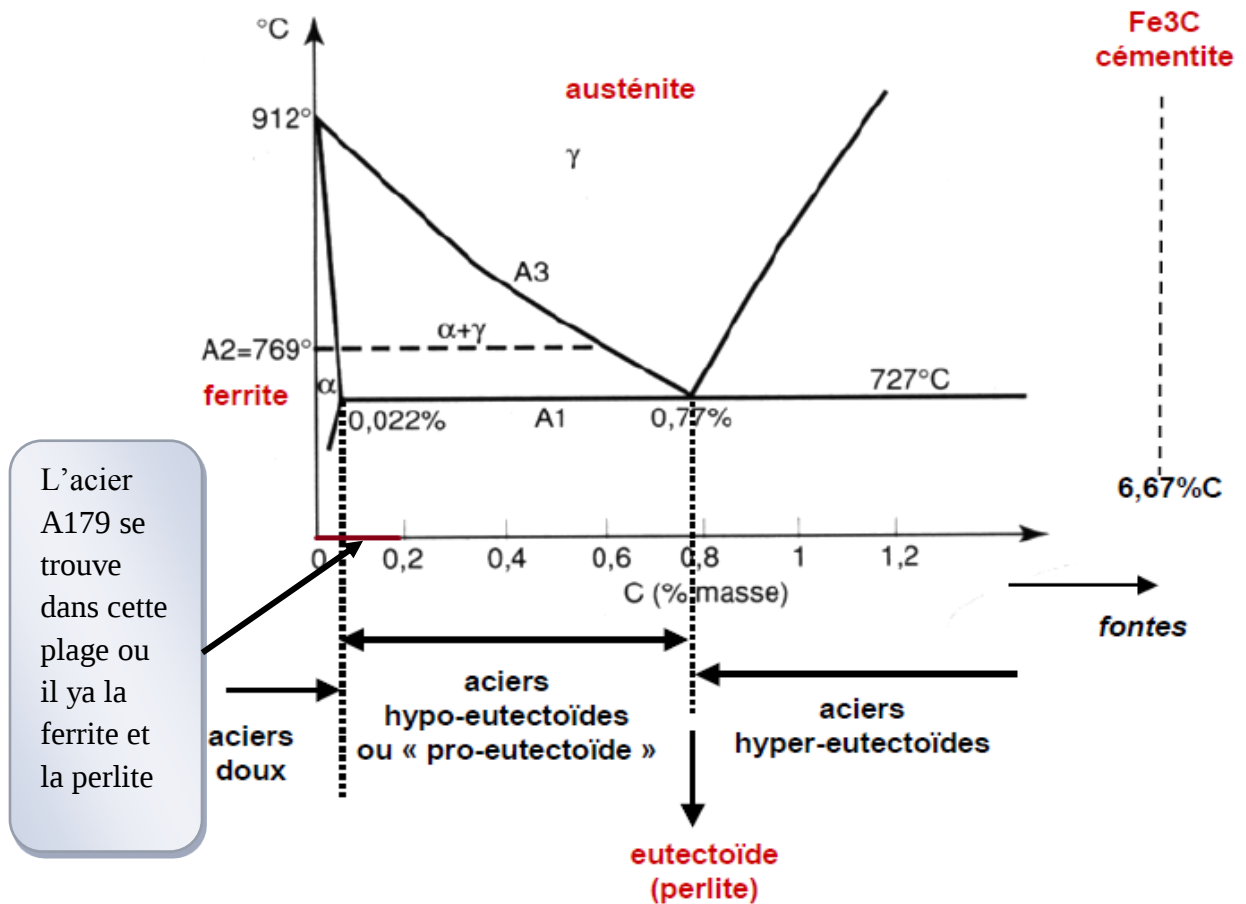


Figure V.5: Diagramme d'équilibre Fe-C

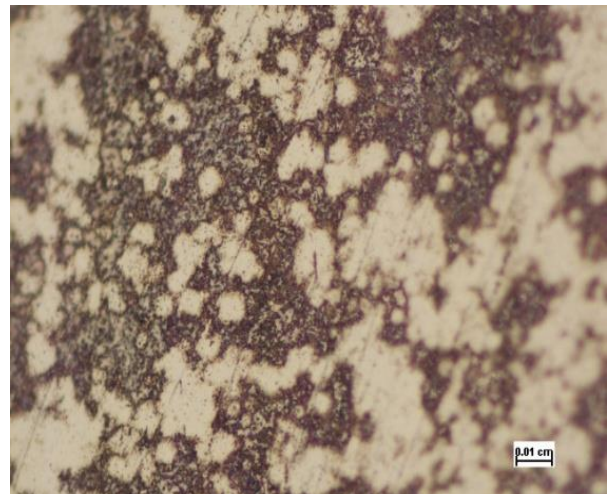
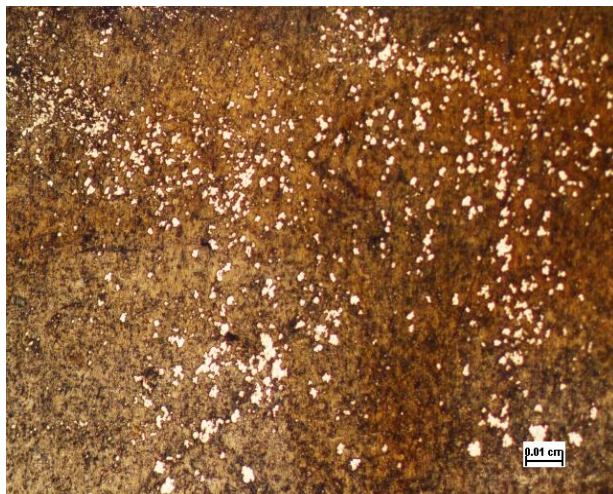


Figure V.6 : la microstructure du cupronickel observée par le microscope optique

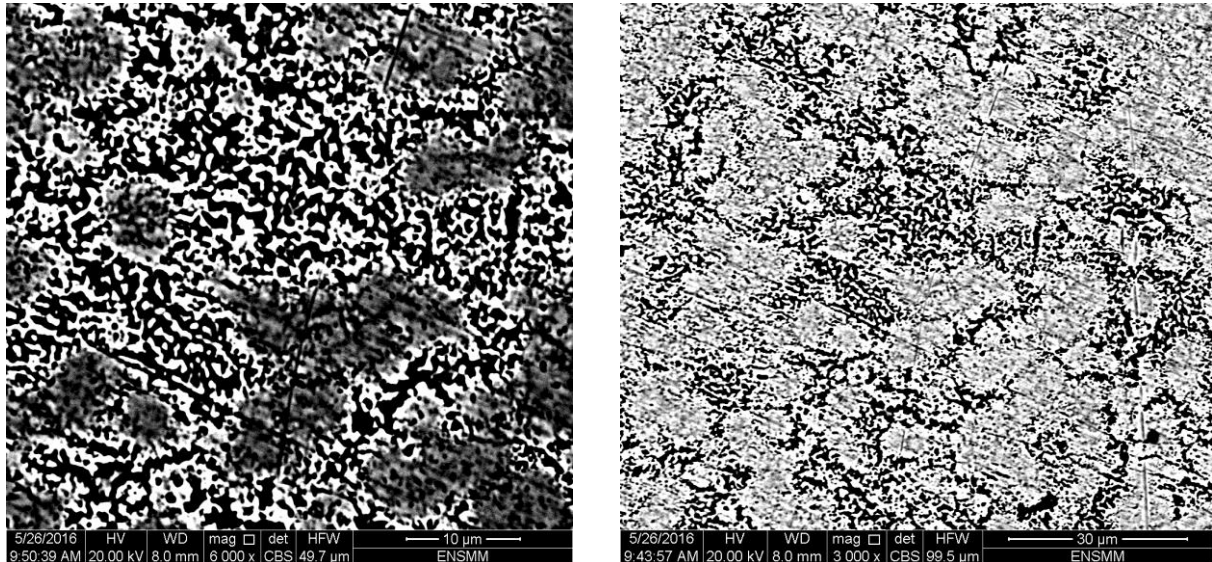


Figure V.7 : Microstructure du cupronickel observé Par le MEB

On sait que le cuivre et le nickel sont mutuellement solubles en toutes proportion et il ne forme donc qu'une solution solide totale α comme illustré sur l'annexe : diagramme d'équilibre Cu-Ni mais, comme on a un pourcentage de Fe (1.51%) on observe la formation de l'intermétallique entre le fer et le nickel ce qu'apparaît dans la figure V.7.

V.4 La dureté :

Le but de cette investigation est la mesure de la dureté de notre matériau, elle nous permis de confirmer la dureté de ce dernier et de réaliser la correspondance avec d'autres propriétés mécaniques. Toutes ces informations permettront de confirmer la nuance de notre alliage ainsi que son état à l'état de livraison.

Nos mesures ont été faites à l'aide d'un duromètre au niveau du laboratoire de l'école, les résultats sont donnés sur les tableaux V.4 et V.5 suivants :

Tableau V.4 : Dureté de l'acier A179

	La force (kgf)	Rockwell (HRB)	La valeur moyenne
1 ^{er} essai	1	95.8	92.5
2 ^{ème} essai	1	89.7	
3 ^{ème} essai	1	92.2	

La valeur de la dureté pour un acier à bas carbone de nuance A179 de la norme ASTM doit être de 87 HRB au maximum ; dans notre cas les essais de dureté réalisés sur un échantillon d'un tube de l'échangeur de chaleur donnent des valeurs légèrement supérieures à cette dernière. , ce résultat est due au fait que le tube utilisé a été mis en service ce qui implique qu'il a subi des changements microstructuraux (figure V.7). En effet, la microstructure montre qu'il s'agit d'un acier ferrito-pérlitique présentant une texture de déformation (grains allongés) probablement due a l'effet de la contrainte (pression) et de la chaleur (température) pendant l'exploitation, cette structure est donc légèrement perturbée.

Tableau V.5 : la dureté du Cupronickel

	La force (Kgf)	Rockwell (HRB)	La valeur moyenne
1 ^{er} essai	1	70.1	74.8
2 ^{em} essai	1	75.9	
3 ^{em} essai	1	78.4	

Parmi les propriétés les plus connues du cuivre et ces alliages est la ductilité et la déformabilité ce qui apparaisse dans le tableau V.5, si on compare les valeurs de la dureté du cupronickel avec celle de l'acier ci-dessus on trouve que le cupronickel est moins dur que l'acier.

Comme cet alliage de cuivre est un nouveau matériau dans cette industrie pétrolier notre échantillon est neuf c'est pour ça la valeur expérimentale est plus proche à la valeur théorique 75HRB.

V.5 Les traitements des eaux :

L'eau utilisée comme fluide de refroidissement occasionnée souvent des problèmes considérables de corrosion dans les circuits de refroidissement. Les exigences en matière de qualité requises pour l'eau de refroidissement sont souvent de type contradictoire et en conséquence, différentes les unes des autres.

Chapitre V: résultats et discussions

Tableau V.6 : les analyses de l'eau de refroidissement

Les traitements	Les dates										Les normes
	01/03/16	02/03/16	03/03/16	04/03/16	07/03/16	08/03/16	16/03/16	17/03/16	18/03/16	21/03/16	
PH	8.6	8.69	8.7	8.3	8.4	8.5	8.3	8.4	8.3	8.5	8.0-8.3
Cond	2920	2600	2510	2570	2170	1872	1758	1861	1830	2080	<5000
TA	33	30	60	40	30	50	30	20	20	50	-
TAC	25	270	330	330	260	210	290	320	300	220	200-250
TH	440	495	590	510	410	490	44.	450	460	470	<1000
Ca	195	364	349	220	220	270	330	270	250	270	<200
Mg	345	149	241	290	190	220	110	180	210	200	<170
Cl	618	776.03	699.35	660.3	438.78	477.27	470.02	529.3	538.89	570.13	<400
SiO ₂	3.31	1.91	1.62	2.6	26	2.01	0.17	2.07	2.02	0.78	-
Po ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T .fer	0.44	0.48	0.78	0.91	0.49	0.30	0.56	0.66	0.17	0.83	<1
O.Po ₄	Abs	Abs	Ab	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-	-
R.Cl ₂	0.02	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-
H/C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	2.2	Abs	-	Abs	-
Zn		-	-	-	-	-	-	Abs	Abs	-	0.4-1
D.O.C	4.21	4.19	0.88	10.16	2.72	2.3	25.66	1.17	0.22	4.4	-
TDS	1752	1560	1506	1542	1302	1123	1054.8	1116.6	1098	1248	-
Il .Sat	1.1	1.7	2.15	-1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
Ir .Sta	6.4	5.2	4.4	5.9	9.6	5.9	5.5	5.6	5.70	5.9	

Tableau V.7: les différentes plages possibles pour l'indice de saturation (REZNAR)

[-7__-4]		[-3__ 3]			[4__7]	
[-7__-6]	[-5__-4]	[-3_-2]	[-1_1]	[2_3]	[4__5]	[6__7]
Danger potentiel	Ajustement mineure	ok	idéal	ok	Ajustement mineure	Danger potentiel
Zone de corrosion		Eau balancé			Zone d'entartrage	

V.5.1 Interprétation des résultats :

L'action destructive de l'eau sur un matériau est la dégradation mécanique, physique, chimique, électrochimique où biologique.

On peut expliquer le problème des fuites sur les tube d'échangeur E04 a cause de deux types de la corrosion, la première type s'appel caverneuse, cette dernière est un résultat d'une attaque électrochimique, elle peut apparaître même pour des concentrations faibles en ions Cl^- (contenant à l'eau) et à température ambiante :

Les Chlorures :

Les ions chlorure ont une influence considérable sur le comportement corrosif de l'eau. Ils ne peuvent pas être éliminés par de simples méthodes de précipitation, leur concentration est maintenue à une valeur d'env.400mg/l par débouillage. Les ions chlorure ont des effets fortement corrosifs sur de nombreux métaux, même sur l'acier inoxydable, et ils favorisent la formation de piqures de rouille. Plus la température est élevée et plus l'effet corrosif augmente

Comme on a vue dans le tableau la concentration des ions Cl^- est hors les normes [14] (elle est > 400) c'est pour ca elle provoque ces types d'endommagements.

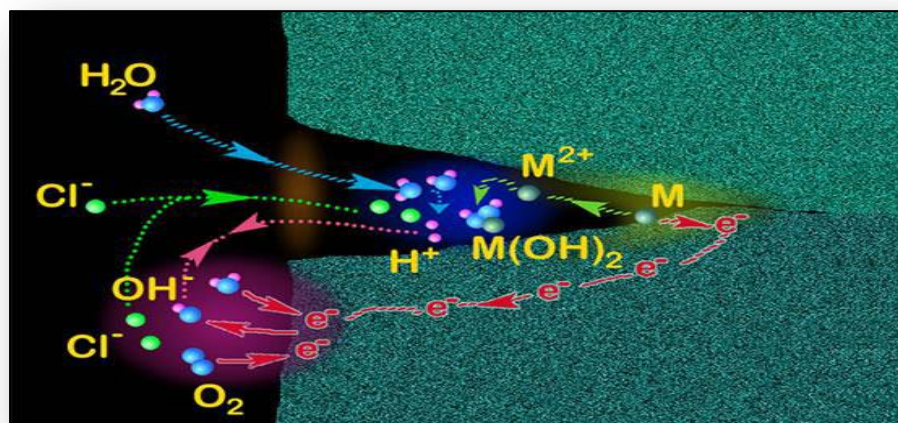


Figure V.8 : la corrosion caverneuse par faible ions Cl^- .

- Le second type de corrosion appelé, corrosion par érosion et cavitation correspondant à une destruction mécanique de la surface métallique contribuent aussi au perçage des tubes en effet l'eau de refroidissement entré avec une grande pression et vitesse de circulation, qui provoque l'érosion de la surface interne des tubes.
- Sous certaines conditions certains sels minéraux peuvent précipiter et déposer sous forme d'agglomérats de cristaux durs qu'on appelle : TARTRE
Rigoureusement, le tartre est la formation de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium. On assimile au tartre, la formation d'autres dépôts très durs tels que le phosphate de calcium, le phosphate de fer.
- Les sels de calcium et magnésium qui causent l'entartrage constituent ce que l'on appelle la dureté de l'eau. La connaissance de cette dureté et sa mesure par conséquent, sont indispensables pour conditionner l'eau pour éviter l'entartrage.

Dureté carbonatée :

Les carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium constituent la dureté temporaire, également appelée dureté carbonatée. La modification de l'équilibre calcaire/acide carbonique et l'augmentation de la valeur du pH, entraîne la formation de carbonates difficilement solubles (Tartre).

V.5.2 Les facteurs influent sur la corrosion :

- Un pH trop bas (suite à une augmentation de température par exemple) qui augmente la concentration d'ions H^+ qui vont réagir avec les hydroxydes OH^- pour reformer de l'eau et rompre ainsi la barrière physique hydroxydes. Dans notre cas on a des valeurs de PH
- influence de la vitesse de circulation de l'eau : trop faible elle favorise la corrosion sous dépôt, trop élevée elle détruit les dépôts protecteurs
- influence de la température : la vitesse de corrosion augmente avec la température de l'eau. (Qui diminue la viscosité et accélère la diffusion de l' O_2)
- La vitesse de corrosion augmente si la surface cathodique est supérieure à la surface anodique.

V.5.3 Interprétation des courbes de corrosion :

En utilisant cette eau de refroidissement de l'échangeur de chaleur dans l'essai de corrosion pour confirmer la participation principale de la qualité des eaux et la qualité de matériau dans les problèmes de corrosion et pour comparer le taux d'avancement de la corrosion entre les 02 types de

matériaux des tubes ou se passe l'eau de refroidissement et détecter l'efficacité de ce dernier changement de fuseaux (retubage totale en cupro-nickel).

V.5.3.1 Courbes potentiodynamiques : Recherche des paramètres de corrosion :

V.5.3.1.1 Potentiel de corrosion : courbes potentiostatiques

Lorsqu'un métal est plongé dans un électrolyte quelconque des ions métalliques, vont passer en solution, c'est-à-dire que le métal a tendance à se corroder. Le métal prend donc un potentiel par rapport à la solution, qui évolue en fonction du temps pour se stabiliser à une certaine valeur appelée : potentiel de corrosion ou de dissolution.

La figure V.9 montre l'évolution du potentiel d'équilibre en fonction du temps pour les deux échantillons (l'acier A179 et le cupronickel) dans l'eau de refroidissement de l'échangeur de chaleur

D'après l'allure de la courbe de l'échantillon cupronickel, on observe une tendance vers le développement d'un film passive d'oxyde de cuivre sur la surface de cet échantillon ce qui indique ce qui nous emmène à conclure une passivation spontanée.

Ce potentiel dépend de la nature du métal, du milieu agressif, de l'état de surface, de la concentration et de la température.

Concernant la courbe de l'acier dans le milieu la tendance est à la dissolution.

D'après les valeurs du potentiel observé au bout d'une heure et demie d'immersion données dans le tableau, le cupronickel montre un potentiel plus noble que de l'acier.

$E_{eq} \text{ acier} < E_{eq} \text{ cupronickel}$

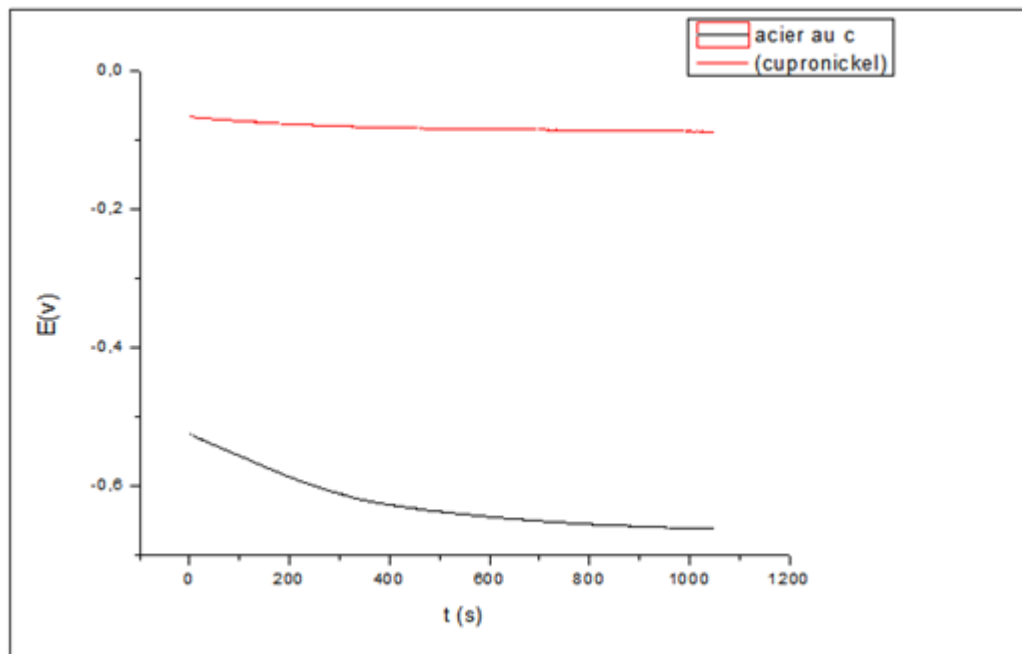


Figure V.9: courbe de potentiel à circuit ouvert pour les deux matériaux

Tableau V.8: les potentiels d'équilibre pour les deux matériaux

	E équilibre (V)
Acier a faible teneur au c	-0.67
cupronickel	-0.089

➤ Courbes potentiodynamiques:

Dans cette partie nous recherchons à définir certaines grandeurs tels que : le courant de corrosion, le potentiel de corrosion et la vitesse de corrosion.

C'est à partir du potentiel qu'on a définie les conditions d'obtention des courbes potentiodynamique qui sont : la plage de balayage en potentiel et la vitesse de balayage.

Une approche par les courbes linaires pour l'acier et le cupronickel permet dans un premier lieu à travers les pentes des courbes linaires de nous fixer sur la cinétique de corrosion.

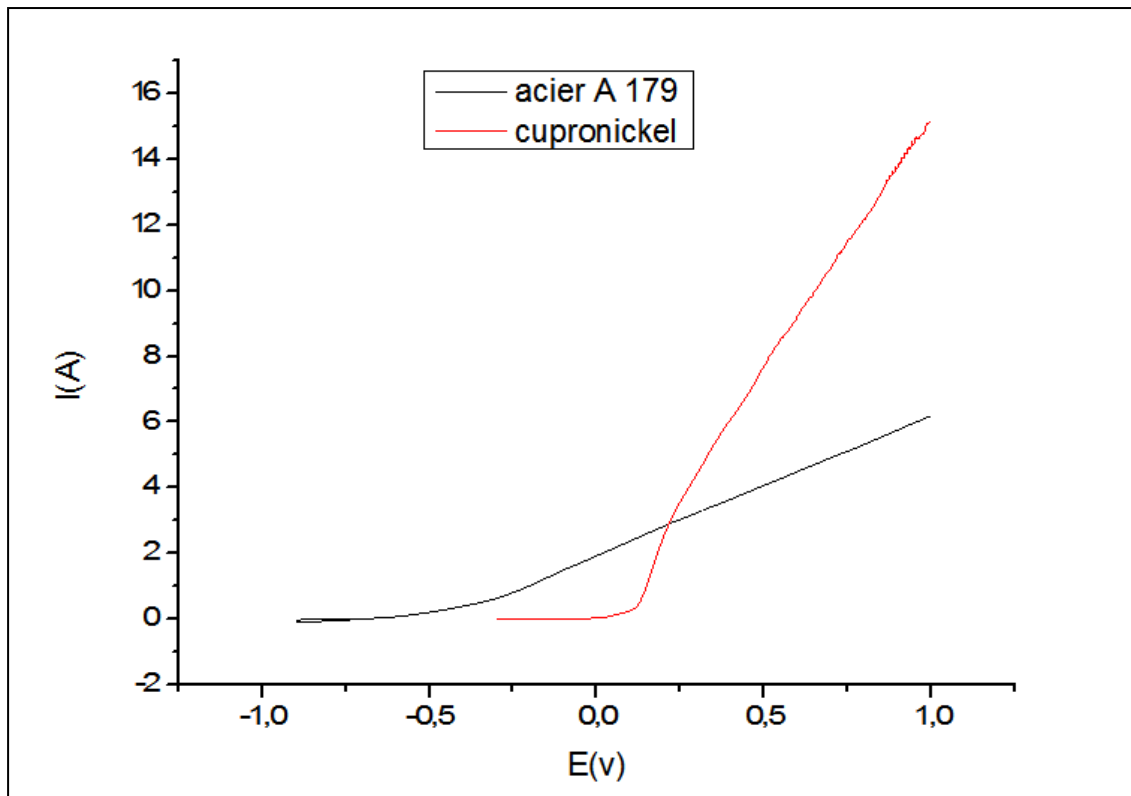


Figure V.10 : Les courbes linaires de tafel

La première observation à noter est que le cupronickel présente un palier de passivation sur un intervalle de 300mV /ECS.

Au de la de 150mV on a une rupture du film passif ce qui explique l'augmentation spontanée du courant .Comparativement avec l'acier, le passage du domaine cathodique au domaine anodique est caractérisé par une dissolution de l'acier.

Nous concluons à une vitesse de corrosion dans le cas de l'acier plus importante.

Cela signifié que le cupronickel présentant une meilleure résistance dans notre milieu sera plus adapté à être utiliser en remplacement des tubes en acier.

Résultats et discussions :

La figure V.11 montre les courbes de polarisation potentiodynamique logarithmiques des deux échantillons dans l'eau de refroidissement, ces courbes sont tracés dans un domaine de balayage de -900a1000 mV/ECS et une vitesse de 1mV/s.

Les valeurs du potentiel de corrosion (E_{cor}), la densité de courant de corrosion (I_{cor}) la vitesse de corrosion et la résistance de polarisation (R_p) sont récapitulés sur **le tableau V.9** Les valeurs de E_{cor} et V_{cor} des deux échantillons dans le milieu d'étude montrent que le cupronickel présente de meilleur paramètres de tenue à la corrosion que l'acier

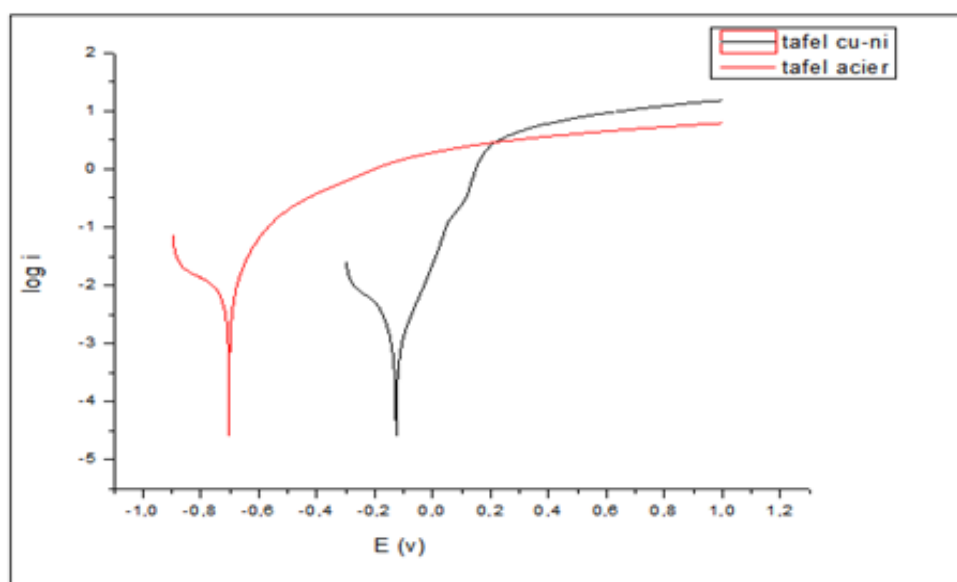


Figure V.11 : Les Courbes de polarisation potentiodynamique pour acier a faible teneur en c et le cupronickel l V=1mV/s Eau de refroidissement

Tableau V.9: Résultats potentiodynamique pour les deux matériaux (acier a faible teneur en c et le cupronickel)

Paramètre de corrosion	E _{corr} (mV/ECS)	i _{corr} (μA/cm ²)	V _{corr} (mm/an)	R _p (Ω)
Acier a faible teneur en c	-702,911	20,672	0.220	3753
Cupronickel	-125,586	0,979	7.99e-3	21428

Impédance :

La technique de la spectroscopie d'impédance électrochimique a été employée pour étudier le comportement des deux échantillons dans l'eau de refroidissement

La figure V.12 montre la présentation Nyquist des deux échantillons dans le milieu d'étude

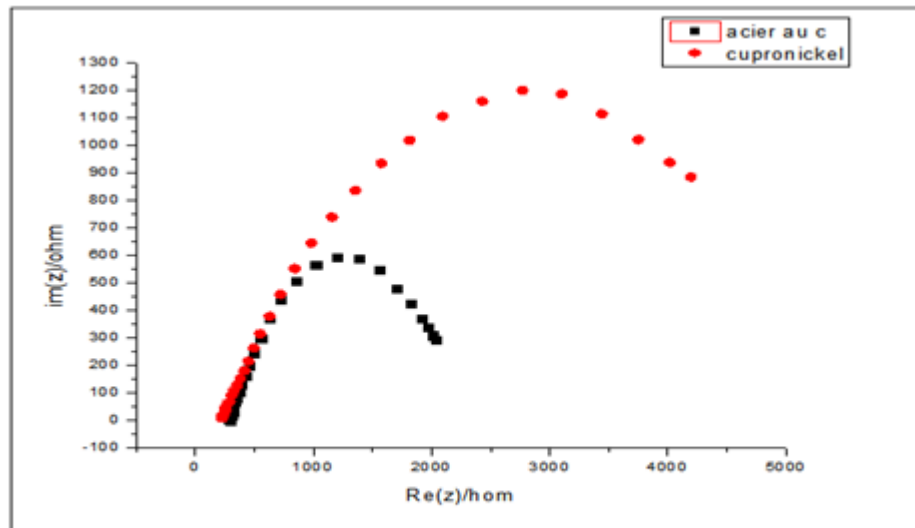


Figure V.12: diagrammes de Nyquist comparatifs de l'acier a faible teneur en c et le cupronickel

Tableau V.10: Les résultats comparatifs de diagramme de Nyquist pour les deux matériaux

paramètres	R1 (Ω)	Q2 (Fs^a-1)	R2 (Ω)
Acier a faible teneur en c	297.7	0.4582 ^e -3	1973
Cupronickel	221.2	0.1339 ^e -3	5403

On observe que les diagrammes de Nyquist sont caractérisés par une boucle capacitive (forme d'un demi-cercle).

Ces digrammes montrent que le comportement des deux alliages dans l'eau de refroidissement est identique, à savoir un comportement capacitif à une seule constante du temps (Q) les paramètres sont présentés sur **le tableau V.10**. Cependant on note que la boucle pour l'alliage cupronickel se traduit par un arc de cercle plus important. Cela signifie que la résistance de transfert de charge est importante.les valeurs de R_t obtenues pour le cupronickel confirme la formation d'un film passif en indiquant aussi une résistance élavée de corrosion par contre d'après les valeurs de R_t de l'acier, on observe un comportement capacitif inférieur.

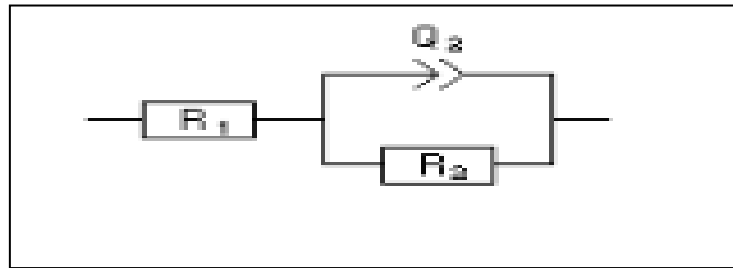


Figure V.13 : Le circuit équivalent pour les 02 nuances

- Le modèle de circuit électrique équivalent est représenté par **la figure V.13** le circuit équivalent est constitué de la résistance de solution R_1 en série avec une constante d'une phase élémentaire CPE en parallèle avec la résistance de polarisation R_2

Ce circuit représente un modèle de la structure de film d'oxyde.

Conclusion:

Pendant la période du stage d'une durée de trois mois, notre objectif principal se limitait essentiellement à diagnostiquer les problèmes que posaient les endommagements de l'échangeur 101E04 CW/NAPHTA B de l'unité REFORMING 2. Les différents problèmes posés au niveau du refroidisseur de la solution NAPHTA B traitée, se résument à l'obturation d'une part et les fuites au niveau des tubes de l'échangeur d'une autre part, avec un mauvais transfert de chaleur qui a été enregistrée.

Les résultats d'analyse des eaux coté faisceaux tubulaires de l'échangeur E04, donnés par le laboratoire du complexe RA1K montrent la présence d'une grande quantité de sels de calcium et magnésium, ils sont la cause principale de la formation des dépôts de tartre qui peuvent boucher les tubes et induire une diminution du transfert de chaleur entre l'eau et la solution de naphta B d'où un échauffement local du métal, ayant pour conséquence une baisse des caractéristiques mécaniques de l'échangeur. Ces analyses nous informent sur la quantité de Cl-qui provoque la corrosion et par conséquence la perforation des tubes.

Les études micrographiques de la surface externe des tubes en acier au C ne montrent pas de dégradations superficielles.

- Les hydrocarbures de types NAPHTA B traités ne sont pas corrosives.
- La qualité des eaux est responsable principal des dégâts occasionnés aux tubes.

Le sujet traité reste d'actualité et important, vu l'importance du problème, il est à noter qu'il faut prendre en charge les préoccupations qui risquent de s'aggraver dans le temps.

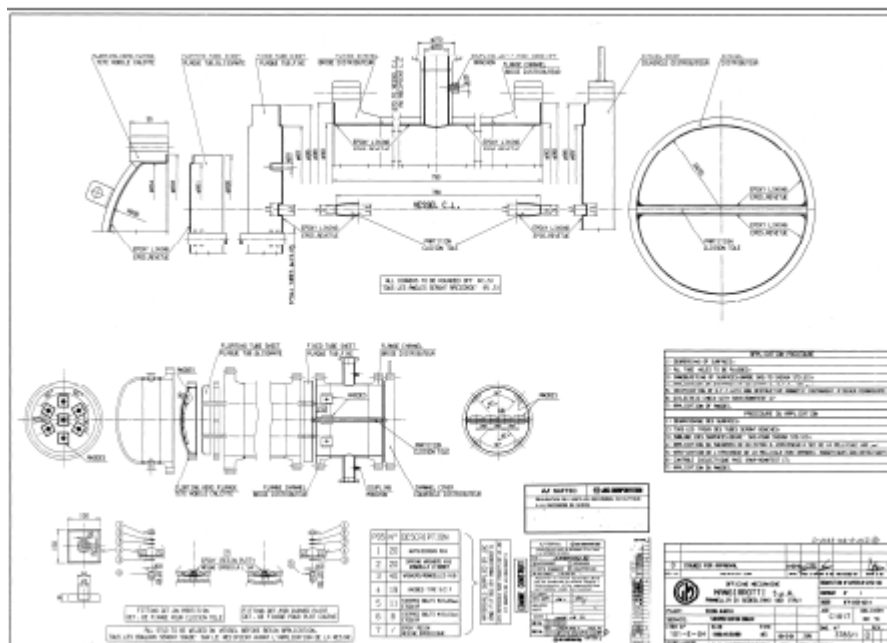
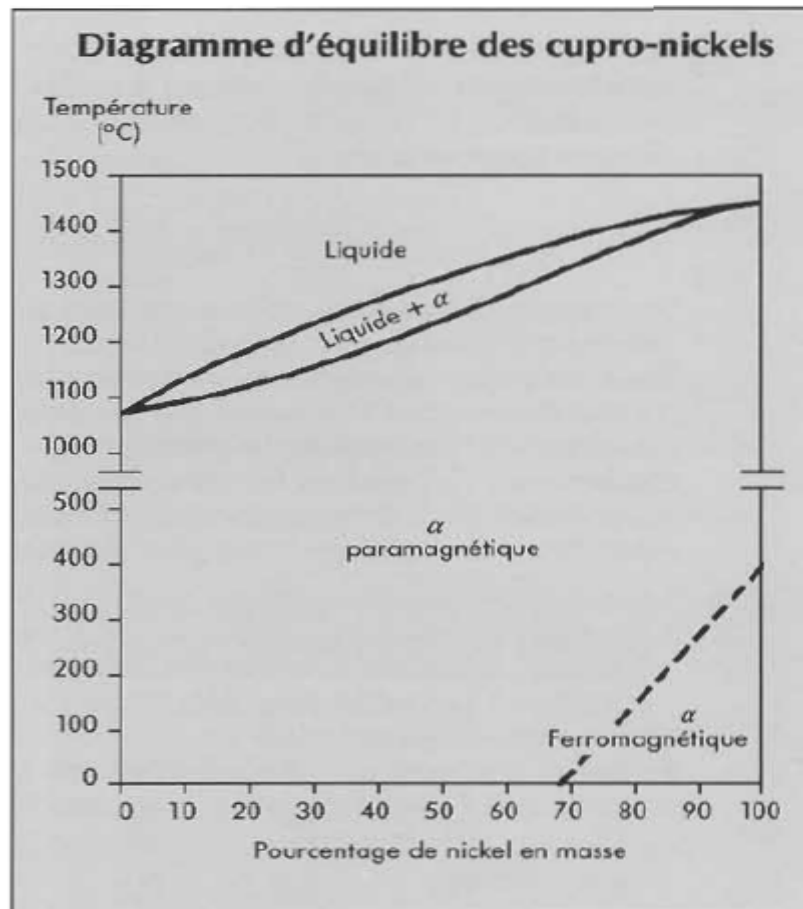
Le choix des anodes sacrificielles par l'entreprise est une solution temporaire;

La solution la plus adaptée et efficace donnant une durée de vie plus longue consiste à améliorer la nuance des tubes en choisissant le cupronickel pour sa meilleure paramètres tenue à la corrosion par rapport à l'acier:

- Les courbes potentiostatique montrent que le cupronickel a un potentiel plus noble que de l'acier.
- Les courbes linaires de tafel montrent que l'alliage cuivre nickel a une capacité de former une couche de passivation.
- D'après la courbe d'impédance, la boucle pour le cupronickel se traduit par un arc de cercle plus important. Cela signifie que sa résistance de transfert de charge est importante.

Le cupronickel présentant une meilleure résistance dans notre milieu sera plus adapté à être utiliser en remplacement des tubes en acier.

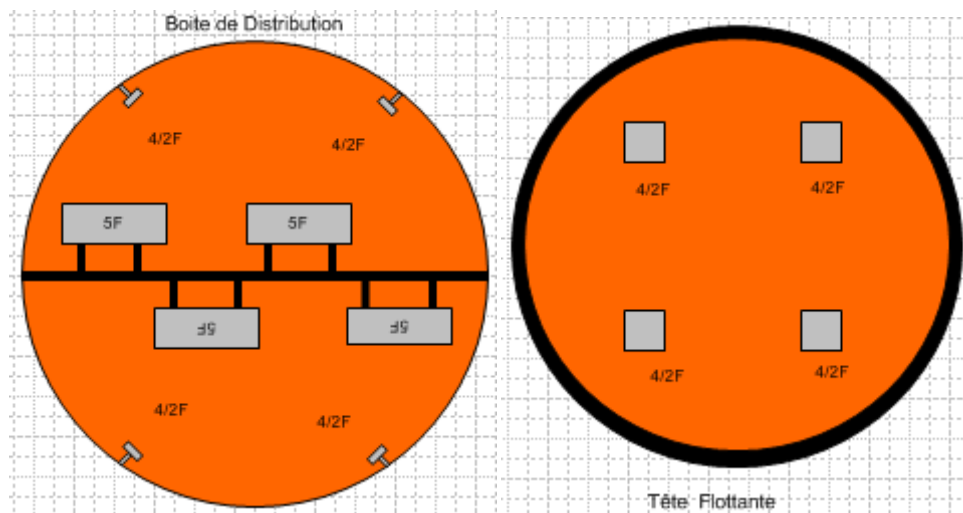
L'ANNEXE



Annexe 01 : schéma de l'échangeur 101 E 04

Présentation de différentes unités:

- Département production PI
- Il se compose des unités de production suivantes:
- Unité 10/11 de distillation atmosphérique (TOPPING)
- Unité 101/103 de reforming catalytique (PLATFORMING)
- Unité 30/31 et 104 de traitement et séparation des gaz (GPL).
- Unité 200 d'extraction des aromatiques.
- Unité 400 de cristallisation et séparation du para xylène.
- Unité 500 d'isomérisation du xylène.
- Unité 900 de purification d'hydrogène.
- Unité 70 de distillation sous vide (Production des bitumes).



Annexe 02 : la distribution des anodes sacrificielles dans la boite de distribution et tête flottante